

ОЦЕНКА МАСШТАБОВ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ВЕТРА НА ТРУДНОДОСТУПНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ВОСТОКА РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

И. Ю. Иванова, Т. Ф. Тугузова, В. А. Шакиров, Н. А. Халгаева

Институт систем энергетики имени Л. А. Мелентьева Сибирского отделения РАН (Иркутск, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 11 апреля 2024 г.

Для цитирования

Иванова И. Ю., Тугузова Т. Ф., Шакиров В. А., Халгаева Н. А. Оценка масштабов рационального использования энергии ветра на труднодоступных территориях востока российской Арктики // Арктика: экология и экономика. — 2024. — Т. 14, № 3. — С. 406—416. — DOI: 10.25283/2223-4594-2024-3-406-416.

Оценены масштабы использования ветропотенциала для электроснабжения населенных пунктов, расположенных вне зоны централизованных энергосистем на востоке российской Арктики. Определены лучшие места размещения ветроэлектростанций с точки зрения их ресурсной обеспеченности. Используются ранее разработанные авторами методы определения коэффициента использования установленной мощности ветроустановок по показателям ветропотенциала и оценки рациональной мощности ветроэлектростанций с использованием сформированных обобщенных зависимостей. Суммарные мощности ветроэлектростанций в зонах высоких значений энергоресурса оцениваются в 12,5 МВт.

Ключевые слова: ветропотенциал, восточная Арктика, электроснабжение, побережье арктических морей, рациональная мощность, ветроэнергетические установки, гибридные энергокомплексы, приоритетное размещение.

Введение

Для азиатских регионов России, включающих Сибирский и Дальневосточный федеральные округа, характерна существенно меньшая степень централизации электроснабжения, чем в европейской части страны. Следствие этого — наличие значительного количества изолированных от систем централизованного электроснабжения населенных пунктов, рассредоточенных по территории. Основу источников электроэнергии составляют автономные дизельные электростанции (ДЭС),

Труднодоступность таких поселений обусловлена неразвитой транспортной инфраструктурой, что влияет на стоимость топлива для ДЭС, доставляемого по сложной схеме с несколькими перегрузками, включающей такие сезонные пути, как реки и зимники. Доля транспортной составляющей в цене

топлива у таких потребителей достигает 70—80%, что является причиной высокой себестоимости производства электроэнергии и необходимости дотирования тарифов для населения [1].

По результатам анализа данных, предоставленных Аналитическим центром при Правительстве РФ [2], порядка 40% установленной мощности автономных электростанций азиатских регионов приходится на территории восточной Арктики. Это северные районы Красноярского края и Республики Саха (Якутия), весь Чукотский автономный округ. Практически все северное побережье азиатских регионов России относится к Арктике. В [3] отмечено, что для экономического роста страны эти территории играют важную роль, способную обеспечить целевые показатели «Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года».

В табл. 1 представлены суммарные показатели производства электроэнергии в изолированных труднодоступных населенных пунктах на востоке

Таблица 1. Показатели производства электроэнергии в изолированных труднодоступных населенных пунктах**Table 1. Electricity production indices in hard-to-reach off-grid settlements**

| Территории | Суммарная установленная мощность, МВт | Производство электроэнергии, млн кВт·ч | Потребность в топливе, тыс. т у. т.* |
|---------------------------------|---------------------------------------|--|--------------------------------------|
| Азиатские регионы, всего | 822 | 1225 | 405 |
| Из них восточная Арктика, всего | 315 | 434 | 160 |
| В том числе: | | | |
| Красноярский край | 90 | 123 | 44 |
| Республика Саха (Якутия) | 170 | 235 | 88 |
| Чукотский автономный округ | 55 | 76 | 28 |

* Тонн условного топлива.

Примечание. Составлено по данным [2] и ответам на запросы авторов в министерства энергетики субъектов Федерации.

Note. Compiled based on data from [2] and responses to requests from the authors to the ministries of energy of the constituent entities of the Russian Federation.

российской Арктики на фоне показателей азиатских регионов.

Более 50% суммарной мощности производства электроэнергии и потребления топлива автономных источников электроэнергии приходится на Арктическую зону Республики Саха (Якутия).

В настоящее время цена дизельного топлива с учетом доставки на востоке российской Арктики достигает 90—140 тыс. руб./т в зависимости от транспортной схемы, экономически обоснованный тариф на электроэнергию составляет 40—70 руб./кВт·ч.

Одним из путей снижения потребления дорогостоящего дизельного топлива для автономных электростанций является применение возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в составе гибридных энергокомплексов. ВИЭ играют большую роль в мире при решении задач энергоснабжения потребителей и снижения воздействий на окружающую среду электростанций на органическом топливе [4; 5]. В России с 2015 г. было построено и введено в состав единой электроэнергетической системы 26 крупных ветроэлектростанций (ВЭС) и 70 крупных солнечных электростанций (СЭС) [6; 7]. В удаленных от энергосистемы районах для экономии топлива на дизельных электростанциях стали применяться СЭС и ВЭС малой мощности [8; 9]. Однако в настоящее время на территории восточной Арктики функционирует только 10 СЭС (суммарной мощностью 1575 кВт), 2 ВЭС (940 кВт) в Республике Саха (Якутия)¹ и ВЭС в Чукотском автономном

округе установленной мощностью 2,58 МВт, которая работает в составе Анадырского энергоузла².

В связи с существующими проблемами энерго- и топливоснабжения потребителей арктических территорий актуальность использования возобновляемых природных энергоресурсов на цели энергетики очевидна. В связи с высокой капиталоемкостью ВИЭ для реализации проектов необходимы государственная поддержка и совершенствование нормативно-правовой базы [10].

В [10] обозначены перспективные механизмы финансирования сооружения ВИЭ, одним из которых является государственно-частное партнерство. Этот механизм предусматривает сотрудничество органов государственной власти и частного предпринимательства с использованием «специальных инвестиционных контрактов (СПИК) для объектов энергетической инфраструктуры». С точки зрения авторов применение методов проектного финансирования будет стимулировать привлечение инвестиций в эту область энергетики, позволит гарантировать предоставление инвесторам льгот и преференций, а также обеспечить стабильные условия ведения бизнеса. Кроме того, высказывается мнение, что финансирование проектов сооружения ВИЭ может быть организовано через создание Фонда развития арктических технологий и направление части средств, выплачиваемых добывающими компаниями коренным малочисленным народам Севера в рамках про-

¹ Схема и программа развития электроэнергетики Республики Саха (Якутия) на 2022—2026 годы. — Утв. указом главы республики от 29 апреля 2022 г. № 2424. — URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/1400202205040007?index=2>.

² Схема и программа развития электроэнергетики Чукотского автономного округа на 2022—2026 годы. — Утв. указом губернатора округа от 19 апреля 2022 г. № 121-пр. — URL: https://docs.yandex.ru/docs/view?url=ya-browser%3A%2F%2F4DT1uXEPRrjRXlUfoewruj_32J3pQjNBvtgCc5KcuRIwPdpTm_zlmpPdxPWWInephmza.

ведения этнологической экспертизы проектов на территориях традиционного природопользования [10]. Использование специальных механизмов стимулирования финансирования использования ВИЭ в Арктике позволит значительно увеличить масштабы их применения.

Поскольку Арктическая зона расположена в основном в прибрежной зоне северных морей, где наилучшими показателями характеризуются ветроэнергетические ресурсы, в статье представляется целесообразным рассмотреть использование ветропотенциала на цели энергетики. Ранее в [1] авторы уже предприняли попытку оценить возможные масштабы использования ветропотенциала на территории восточной Арктики. Целью настоящего исследования явилось уточнение полученных оценок с более подробным рассмотрением характеристик энергоснабжения населенных пунктов территории и с привлечением дополнительных методов определения коэффициента использования установленной мощности (КИУМ) ветроустановок по показателям ветропотенциала.

Исходные данные и допущения

В качестве исходных данных при оценке рациональной мощности ветроэлектростанций в составе гибридных энергокомплексов на востоке российской Арктики использованы наземные измерения метеостанций и характеристики существующих автономных энергоисточников [2; 11—13].

Восточные арктические регионы России обладают значительным потенциалом ветроэнергетических ресурсов. В [14] с помощью картографического материала показано, что лучшие значения ветропотенциала наблюдаются на побережье северных и восточных морей, что говорит о перспективности развития на этих территориях ветровой генерации.

Одним из основных факторов, влияющих на эффективность использования ресурсов на цели энергоснабжения и на величину рациональной мощности ВЭС, является распределение скоростей ветра в течение года.

В [15] для выявления особенностей распределения скоростей ветра в годовом разрезе на территории восточных регионов России представлены результаты мониторинга внутригодового распределения среднемесячных скоростей ветра как основного показателя ветропотенциала. В данном случае на рис. 1 приведены данные только для пунктов, расположенных на территории восточной Арктики.

Внутригодовое распределение показателей ветропотенциала рассматриваемых территорий различно: для побережья Чукотского и Берингова морей характерен зимний максимум скоростей ветра, для побережья арктических морей — летний. Материковой части, при значительно меньших по величине скоростях ветра, свойствен осенне-весенний максимум скоростей ветра. Следует отметить, что в зависимости от особенностей рельефа местности возможно иное локальное распределение, что подробнее рассмотрено в [16]. Результаты оценки эффективности сооруже-

ния ветроэлектростанций в локальной энергетике северо-восточных регионов России, приведенные в [15; 16], свидетельствуют о конкурентоспособности этого типа энергоисточников в составе гибридных энергокомплексов при КИУМ более 20—25% в зависимости от цены вытесняемого топлива.

Методы исследования

Для оценки рациональной мощности ветроэнергетических установок (ВЭУ) применены два авторских метода.

1. Оценка показателей ветропотенциала (средней скорости ветра, коэффициента использования установленной мощности и коэффициента вариации скорости ветра) на востоке российской Арктики получены на основе данных наземных измерений метеостанций с использованием программы Wind-MCA [17]. О перспективности территории для размещения ВЭС необходимо судить по комплексу благоприятствующих признаков. Согласно [18] средняя скорость ветра и коэффициент вариации скорости ветра являются одними из основных показателей, отражающих перспективность района.

«Расписание погоды»³ располагает базой данных в виде статистически не обработанных измерений скоростей ветра, в том числе для гидрометеостанций (ГМС), которые расположены на востоке российской Арктики. Для большинства пунктов данные метеостанций формируются в формате SYNOP (измерения каждые 3 ч), для некоторых пунктов — в формате METAR (измерения 1—2 раза в час). Подробное описание программного обеспечения с основными расчетными формулами приведено в [19]. В программе Wind-MCA методом линейной интерполяции получены часовые значения скорости ветра для всех метеостанций рассматриваемой территории за период 2018—2020 гг., которые в дальнейшем используются для последовательных расчетов коэффициента вариации скорости и КИУМ.

Показатель КИУМ позволяет предварительно оценить эффективность использования ветроэнергетических установок. Для его расчета применялась мощностная характеристика ВЭУ модели Nordex-225 со сравнительно малой номинальной мощностью⁴, что обусловлено низким уровнем электрических нагрузок потребителей арктических территорий. Номинальная мощность ВЭУ Nordex-225 составляет 225 кВт, стартовая и номинальная скорости — 3,5 и 15 м/с соответственно, диаметр ротора ВЭУ — 26 м, высота ветробашни — 30 м.

В расчете выработки электроэнергии участвует электрическая мощность ВЭУ, соответствующая скорости ветра в каждый час. При этом скорость ветра, измеренная на высоте флюгера метеостанции, приводится к высоте башни ветроустановки.

³ Расписание погоды. — URL: <https://rp5.ru>.

⁴ The wind power. Wind energy market intelligence. Available at: https://www.thewindpower.net/turbine_en_1142_nordex_n26-225.php.

Весь представленный картографический материал выполнен в программе QGIS⁵, географической информационной системе (ГИС), которая распространяется под GNU (General Public License). QGIS является проектом Open Source Geospatial Foundation (OSGeo) с открытым кодом. Она имеет широкие возможности, работает на многих операционных системах (Linux, Unix, Mac OSX, Windows и Android) и поддерживает множество форматов и баз данных. Карты позволяют визуализировать полученные показатели с дифференциацией по величине и тону раскраски условного обозначения, что дает возможность выявлять территории с позиций энергообеспеченности.

2. Рациональная мощность ВЭС в составе гибридных энергокомплексов определена согласно авторскому методическому подходу использования обобщенных зависимостей. Эти зависимости сформированы в результате многовариантных расчетов при фиксированных значениях нагрузки потребителя для каждой группы внутригодового распределения скоростей ветра (см. рис. 1). Подробное описание получения зависимостей и результатов их использования изложено в [20]. Рациональная мощность ВЭС определяется по полученным зависимостям исходя из максимума нагрузки потребителя при варьировании значений потенциала ветроэнергетических ресурсов, характеристик которого для ветроустановок является КИУМ. Представленные в [20] зависимости могут использоваться для получения предварительных оценок и позволяют определить минимально необходимое значение мощности ВЭС по имеющемуся максимуму нагрузки потребителя и показателю потенциала энергоресурса без выполнения подробных модельных расчетов. В дальнейшем эти мощности могут уточняться с учетом региональных особенностей и использования систем аккумулирования энергии при оценке финансово-экономической эффективности.

Согласно полученным зависимостям, в местах с лучшими показателями ветропотенциала рациональная мощность ВЭС составляет немногим менее максимума нагрузки потребителя в зависимости от характера внутригодового распределения ветропотенциала [20].

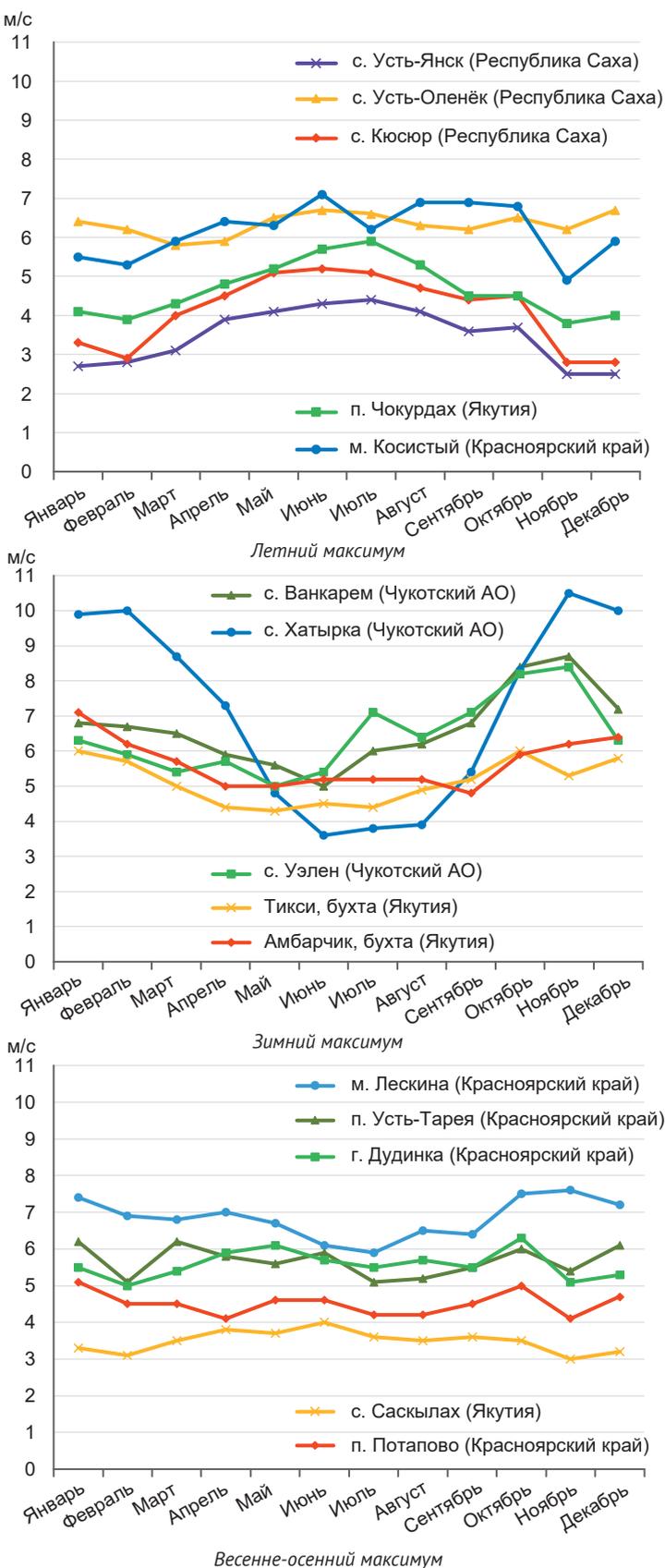


Рис. 1. Среднегодовое распределение скорости ветра на востоке российской Арктики. Составлено по данным [11–13]
 Fig. 1. Average annual wind speed distribution in the eastern Russian Arctic. Compiled from data [11–13]

⁵ QGIS Свободная географическая информационная система с открытым кодом. – URL: <https://www.qgis.org/ru/site/about/>.

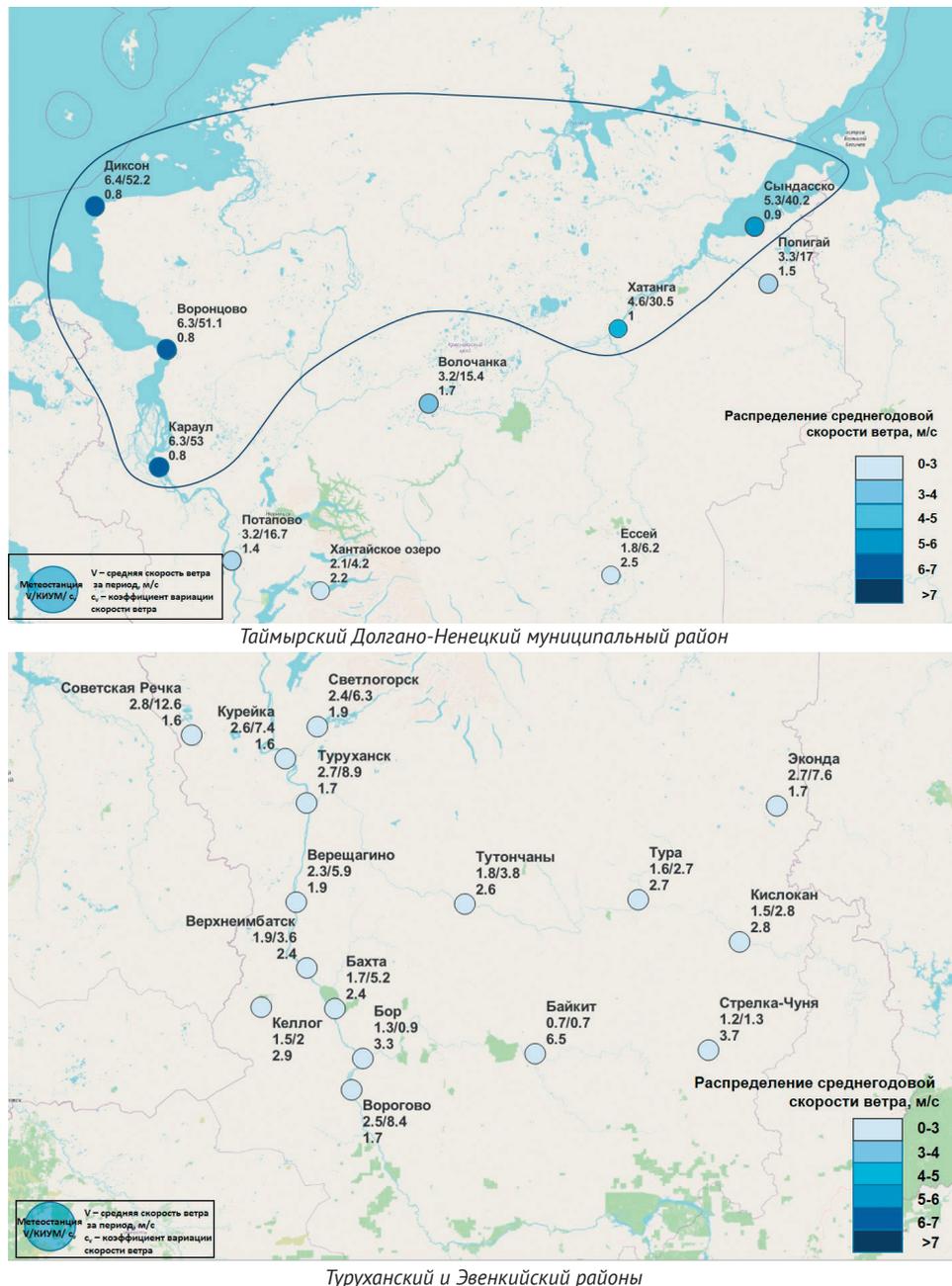


Рис. 2. Показатели ветропотенциала Арктической зоны Красноярского края
 Fig. 2. Indicators of wind potential in the Arctic zone of the Krasnoyarsk Territory

Результаты и обсуждения

На рис. 2 и 3 представлены пункты на территории восточной Арктики, в которых расположены ГМС, с указанием расчетных значений показателей ветропотенциала. Выделены зоны с наилучшими его значениями. На рис. 2 приведены показатели ветропотенциала пунктов в Арктической зоне Красноярского края. В пунктах, расположенных на материковой части края, значений ветропотенциала недостаточно для использования на цели энергетики в отличие от прибрежной зоны.

В табл. 2 приведены населенные пункты, изолированные от системы централизованного электро-

снабжения, с высокими показателями ветропотенциала, а также определенные рациональные мощности ВЭС. Также представлены перспективные для развития ветроэнергетики населенные пункты Арктической зоны Красноярского края с указанием среднегодовых скоростей ветра, расчетных значений КИУМ и максимальных электрических нагрузок⁶ [2; 11]. КИУМ ВЭС в этих пунктах варьируется от 30,5% до 53%, коэффициент вариации скорости

⁶ Схема и программа перспективного развития электроэнергетики Красноярского края на период 2022–2026 годов. – Утв. указом губернатора края от 30 апреля 2021 г. № 212-рг.

Таблица 2. Расчетная мощность ВЭС в Арктической зоне Красноярского края, Республики Саха (Якутия) и Чукотского автономного округа
Table 2. Estimated capacity of wind power plants in the Arctic zone of the Krasnoyarsk Territory, Republic of Sakha (Yakutia) and Chukot Autonomous Area

| Населенный пункт | Среднегодовая скорость ветра, м/с | КИУМ ВЭС, % | Коэффициент вариации скорости ветра | Максимальная нагрузка, кВт | Рациональная мощность ВЭС, кВт |
|---|-----------------------------------|-------------|-------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| <i>Красноярский край</i> | | | | | |
| Поселок Воронцово | 6,3 | 51,1 | 0,8 | 330 | 210 |
| Поселок Диксон | 6,4 ^{1*} | 52,2 | 0,8 | 990 (материковая часть) | 620 |
| | | | | 180 (островная часть) | 120 |
| Село Караул | 6,3 | 53,0 | 0,8 | 810 | 510 |
| Поселок Сындасно | 5,3 | 40,2 | 0,9 | 230 | 140 |
| Село Хатанга | 4,6 | 30,5 | 1,0 | 2850 | 1850 |
| <i>Итого</i> | | | | 5390 | 3450 |
| <i>Республика Саха (Якутия)</i> | | | | | |
| Поселок Найба | 4,7 ^{2*} | 28,6 | 0,8 | 280 | 260 |
| Поселок Тикси | 4,7 | 28,6 | 0,8 | 3620 | 4710 |
| Поселок Тикси-3 | 4,7 | 28,6 | 0,8 | 1070 | 1390 |
| <i>Итого</i> | | | | 4970 | 6360 |
| <i>Чукотский автономный округ</i> | | | | | |
| Село Канчалан | 4,5 | 30,7 | 1,2 | 640 | 640 |
| Село Ванкарем | 8,1 | 39,8 | 1,0 | 230 | 230 |
| Поселок городского типа (пгт) Мыс Шмидта + село Рыркайпий ^{5*} | 8,1 ^{3*} | 39,8 | 1,0 | 1330 | 1130 |
| Село Айон | 5,1 | 37,5 | 1,0 | 30 | 30 |
| Село Биллингс | 5,4 | 40,4 | 0,9 | 20 | 20 |
| Село Инчоун | 6,4 ^{4*} | 49,3 | 0,9 | 280 | 230 |
| Село Уэлен | 6,4 | 49,3 | 0,9 | 450 | 360 |
| <i>Итого</i> | | | | 2980 | 2640 |

^{1*} Принято по ГМС Диксон, расположенной на материковой части.

^{2*} Принято по ГМС Тикси.

^{3*} Принято по ГМС Ванкарем.

^{4*} Принято по ГМС Уэлен.

^{5*} Электроснабжение осуществляется от одной ДЭС на суммарную нагрузку поселков.

ветра — от 0,8 до 1. Рациональная мощность ВЭС определена из обобщенной зависимости для летнего максимума годового распределения скоростей ветра, характерного для этой территории. Для пунктов с КИУМ более 25% рациональная мощность

ВЭС оценивается в 0,6—0,7 максимальной нагрузки потребителя и суммарно составляет 3,5 МВт.

Лучшие значения ветропотенциала на территории Республики Саха (Якутия) выявлены только в нескольких населенных пунктах на морском побере-



Рис. 3. Показатели ветропотенциала Чукотского автономного округа
 Fig. 3 Wind potential indicators of the Chukot Autonomous Area

же, где внутригодовое распределение скоростей ветра имеет летний максимум [2; 12]. Результаты исследований по определению расчетных показателей ветропотенциала на территории республики приведены в [21]. Суммарная рациональная мощность ВЭС оценивается в 6,4 МВт, КИУМ ВЭС — 28,6%, коэффициент вариации скорости ветра — 0,8 (см. табл. 2).

В поселке Тикси уже имеется опыт эксплуатации ветроэлектростанции в составе трех ВЭУ в арктическом исполнении суммарной мощностью 900 кВт, изготовленных и смонтированных в 2018—2019 гг. японской фирмой «Komaihaltec». В настоящее время ветроэлектростанция работает совместно с дизельной электростанцией поселка мощностью 3 МВт и системой аккумулирования электроэнергии⁷. В [22] в числе основных факторов и направлений развития поселка Тикси и прилегающих территорий рассматривается перспектива создания испы-

тательного полигона альтернативных источников энергии и мероприятий энергоресурсосбережения, в том числе в целях исследования совместной работы ветровых, солнечных и гидроэлектростанций для энергоснабжения отдаленных потребителей Крайнего Севера.

Чукотский автономный округ в силу его географического расположения обладает значительными ветроэнергетическими ресурсами (рис. 3). По данным многолетних наблюдений наземных метеостанций в отдельных населенных пунктах среднегодовая скорость ветра превышает 8 м/с. Характерным распределением годовых скоростей ветра на восточном побережье округа является зимний максимум [2; 13]. КИУМ ВЭС на территории округа изменяется от 30,7% до 49,3%, коэффициент вариации скорости ветра — от 0,9 до 1,2.

Рациональные мощности ВЭС на территории Чукотского автономного округа суммарно оцениваются в 2,6 МВт (см. табл. 2).

⁷ <https://www.sakha.gov.ru/news/front/view/id/3253305>.

Таблица 3. Сводные данные масштабов рационального использования ветропотенциала на востоке российской Арктики**Table 3. Summary data on the scale of wind potential rational use in the eastern Russian Arctic**

| Территория | Количество ВЭС | Суммарная рациональная мощность ВЭС, МВт | Возможная выработка электроэнергии, млн кВт·ч | Экономия топлива, тыс. т | Стоимость сэкономленного топлива, млн руб. |
|---|----------------|--|---|--------------------------|--|
| Арктическая зона Красноярского края | 6 | 3,5 | 12,1 | 1,8 | 160—180 |
| Арктическая зона Республики Саха (Якутия) | 3 | 6,4 | 15,9 | 2,0 | 200—230 |
| Чукотский автономный округ | 7 | 2,6 | 9,2 | 1,4 | 120—150 |
| <i>Итого</i> | 16 | 12,5 | 37,2 | 5,2 | 480—560 |

В табл. 3 представлены сводные данные по оценке масштабов рационального использования ветропотенциала на цели электроснабжения изолированных от энергосистем населенных пунктов в труднодоступных районах на востоке российской Арктики. Лучшие показатели ветропотенциала наблюдаются на арктических территориях Красноярского края и Чукотского автономного округа.

В то же время наибольшие значения суммарной установленной мощности ВЭС за счет более крупных населенных пунктов отмечаются в Республике Саха (Якутия), что составляет чуть более 50% суммарного значения. В связи с этим и самая значительная экономия топлива приходится на Республику Саха (Якутия).

Выводы

На побережье восточной Арктики наблюдаются средние скорости ветра от 4,5 м/с в бухтах и заливах до 8,1 м/с на побережье Чукотского автономного округа. Для территорий, удаленных от побережий вглубь материка, характерны скорости ветра до 3 м/с. При этом коэффициент использования установленной мощности колеблется для разных территорий от 0,7% на материковой арктической территории до 53% на побережье морей. Лучшие значения коэффициента использования установленной мощности соответствуют населенным пунктам Чукотского автономного округа и Арктической зоне Красноярского края (более 50%). Коэффициент вариации скорости ветра в местах с лучшими значениями показателей ветропотенциала изменяется от 0,8 на территории Красноярского края до 1,2 на территории Чукотского автономного округа.

На основе исследований с помощью авторских методов и анализа полученных результатов оценены масштабы использования ветропотенциала на цели электроснабжения труднодоступных изолированных от энергосистем потребителей на востоке российской Арктики. Суммарные рациональные мощности ветроэлектростанций в составе гибридных энергокомплексов оцениваются в 12,5 МВт

в количестве 16 единиц с учетом возможных потенциальных потребителей в зонах высоких значений ветроэнергетических ресурсов. Сооружение ветроэлектростанций в таких масштабах позволит, по оценкам авторов, экономить ежегодно более 5 тыс. т дизельного топлива на сумму около 500 млн руб. Для эффективного использования ветропотенциала необходим детализированный учет природно-климатических факторов территории за длительный период [23]. Особое внимание должно уделяться суточным и сезонным закономерностям изменения скорости ветра, влиянию рельефа местности, продолжительности и интенсивности обледенения, буревых и ураганных скоростей ветра.

Государственная поддержка, совершенствование нормативно-правовой базы и использование специальных механизмов стимулирования финансирования по внедрению ВИЭ в Арктике будут способствовать реализации проектов и увеличению масштабов их применения.

Финансирование

Исследования выполнены в рамках проекта государственного задания FWEU-2021-0004 по теме «Комплексные исследования приоритетов пространственного развития энергетики азиатских регионов России с учетом тенденций технологического развития ТЭК страны и энергетического сотрудничества со странами Северо-Восточной Азии».

Литература/References

- Иванова И. Ю., Тугузова Т. Ф., Халгаева Н. А. Возможные масштабы использования ветропотенциала для энергоснабжения в восточной арктической зоне России // Вестн. Иркут. гос. техн. ун-та. — 2018. — Т. 22, № 8. — С. 114—122. — DOI: 10.21285/1814-3520-2018-8-114-122.
- Ivanova I. Yu., Tuguzova T. F., Khalgaeva N. A. Possible use of wind potential for energy supply in the Eastern

- Arctic zone of Russia. Vestnik of Irkutsk State Technical University, 2018, vol. 22, no. 8, pp. 14—122. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-8-114-122. (In Russian).
2. Объекты генерации в изолированных и труднодоступных территориях в России: Аналитический доклад / Аналит. центр при Правительстве Российской Федерации. — М., 2020. — 78 с.
Generation facilities in isolated and inaccessible areas in Russia. Analytical report. Analytical Center for the Government of the Russian Federation. Moscow, 2020, 78 p. (In Russian).
3. Новиков А. В. Экономика прибрежных территорий Арктики: анализ состояния и тенденции развития // Арктика: экология и экономика. — 2022. — Т. 12, № 2. — С. 200—210. — DOI: 10.25283/2223-4594-2022-2-200-210.
Novikov A. V. The economy of the coastal Arctic zones: analysis of the state and development trends. Arctic: Ecology and Economy, 2022, vol. 12, no. 2, pp. 200—210. DOI: 10.25283/2223-4594-2022-2-200-210. (In Russian).
4. Lowe R. J., Drummond P. Solar, wind and logistic substitution in global energy supply to 2050 — Barriers and implications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2022, 153, p. 111720. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111720>.
5. Chang L., Saydaliev H. B., Meo M. S., Mohsin M. How renewable energy matter for environmental sustainability: Evidence from top-10 wind energy consumer countries of European Union. Sustainable Energy, Grids and Networks, 2022, 31, p. 100716. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.segan.2022.100716>.
6. Бутузов В. А., Безруких П. П., Елистратов В. В. Возобновляемая энергетика в России. С первых шагов до наших дней // Энергосбережение. — 2021. — № 4. — С. 62—72.
Butuzov V. A., Bezrukih P. P., Elistratov V. V. Renewable energy in Russia. From the first steps to the present day. Energoberezhenie, 2021, no. 4, pp. 62—72. (In Russian).
7. Kapitonov I. A., Voloshin V. I., Filosofova T. G., Syrtsov D. N. Development of experience in the application of technologies in the field of alternative energy: World experience, Russian practice. Renewable Energy, 2021, 165, pp. 773—782. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.11.063>.
8. Шакиров В. А., Тугузова Т. Ф., Муzychuk P. И. Проблемы электроснабжения в коммунально-бытовом секторе Арктической зоны Республики Саха (Якутия) // Арктика: экология и экономика. — 2020. — № 4 (40). — С. 106—116. — DOI: 10.25283/2223-4594-2020-4-106-116.
Shakirov V. A., Tuguzova T. F., Muzychuk R. I. Problems of power supply in the public utility sector of the Arctic zone of the Republic of Sakha (Yakutia). Arctic: Ecology and Economy, 2020, no. 4 (40), pp. 106—116. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-4-106-116. (In Russian).
9. Karamov D. N., Suslov K. V. Storage battery operation in autonomous photovoltaic systems in Siberia and the Russian Far East. Practical operating experience. Energy Reports, 2022, 8, pp. 649—655. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.11.184>.
10. Потравный И. М., Яшалова Н. Н., Бороухин Д. С., Толстоухова М. П. Использование возобновляемых источников энергии в Арктике: роль государственно-частного партнерства // Эконом. и соц. перемены: факты, тенденции, прогноз. — 2020. — Т. 13, № 1. — С. 144—159. — DOI: 10.15838/esc.2020.1.67.8.
Potravnyi I. M., Yashalova N. N., Boroukhin D. S., Tolstoukhova M. P. The Usage of Renewable Energy Sources in the Arctic: The Role of Public-Private Partnership. Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast, 2020, vol. 13, no. 1, pp. 144—159. DOI: 10.15838/esc.2020.1.67.8. (In Russian).
11. Справочник по климату СССР: Вып. 21: Красноярский край. Таймырский (Долгано-Ненецкий) национальный округ. Эвенкийский национальный округ. Хакасская автономная область. Тувинская АССР. — Ч. 3: Ветер. — Л.: Гидрометеиздат, 1967. — 356 с.
Handbook on the climate of the USSR. Vol. 21. Krasnoyarsk Territory. Taimyrsky (Dolgano-Nenets) National Area. Evenki National Area. Khakass Autonomous Region. Tuva Autonomous Soviet Socialist Republic. Pt. 3. Wind. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1967, 356 p. (In Russian).
12. Справочник по климату СССР: Вып. 24: Якутская АССР. — Ч. 3: Ветер. — Л.: Гидрометеиздат, 1967. — 271 с.
Handbook on the climate of the USSR. Vol. 24. Yakutia Autonomous Soviet Socialist Republic. Pt. 3. Wind. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1967, 271 p. (In Russian).
13. Справочник по климату СССР: Вып. 33: Магаданская область и Чукотский национальный округ. — Ч. 3: Ветер. — Л.: Гидрометеиздат, 1967. — 347 с.
Handbook on the climate of the USSR. Vol. 33. Magadan region and Chukotka Autonomous Area. Pt. 3. Wind. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1967, 347 p. (In Russian).
14. Восточный вектор энергетической стратегии России: современное состояние, взгляд в будущее / Под ред. Н. И. Воропая, Б. Г. Санеева; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т систем энергетики им. Л. А. Мелентьева. — Новосибирск: Академ. изд-во «Гео», 2011. — 368 с.
The Eastern vector of Russia's energy strategy: State of the art and prospects. Ed. by N. I. Voropai, B. G. Saneev; Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Melentiev Energy Systems Institute. Novosibirsk, Academic Publishing House "GEO", 2011, 368 p. (In Russian).
15. Санеев Б. Г., Иванова И. Ю., Тугузова Т. Ф., Халгаева Н. А. Оценка экономической эффективности ветроэнергетических установок в децентрализованном секторе восточных регионов России // Региональные аспекты ветроэнергетики / Отв. ред. В. А. Стенников, В. Г. Курбацкий. — Новосибирск: СО РАН, 2020. — С. 188—206. — DOI: 10.15372/REGIONAL2020SVA.

- Saneev B. G., Ivanova I. Yu., Tuguzova T. F., Khalgaeva N. A. Assessment of the economic efficiency of wind power plants in the decentralized sector of the eastern regions of Russia. Regional aspects of wind energy. Eds in chief V. A. Stennikov, V. G. Kurbatsky. Novosibirsk, SB RAS, 2020, pp. 188—206. DOI: 10.15372/REGIONAL2020SVA. (In Russian).
16. Иванова И. Ю., Ноговицын Д. Д., Тугузова Т. Ф. и др. Факторы, влияющие на эффективность использования ветропотенциала в локальной энергетике Якутии // Изв. Рос. акад. наук. Энергетика. — 2017. — № 1. — С. 84—92.
- Ivanova I. Yu., Nogovitsyn D. D., Tuguzova T. F., Shakirov V. A., Sheina Z. M., Sergeeva L. P. Factors affecting the wind resource utilization efficiency in the energy sector of the Sakha Republic. Izvestia of the Russian Academy of Sciences. Energy, 2017, no. 1, pp. 84—92. (In Russian).
17. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014619044. Многокритериальная оценка эффективности использования ветроэнергетических установок (Wind-MCA) / В. А. Шакиров, А. Ю. Артемьев. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 08.09.2014 г. Certificate of state registration of computer program No. 2014619044. Multi-criteria assessment of the efficiency of using wind power plants (Wind-MCA). V. A. Shakirov, A. Yu. Artemyev. Registered in the Computer Programs Register 08.09.2014. (In Russian).
18. Проведение изыскательских работ по оценке ветроэнергетических ресурсов для обоснования схем размещения и проектирования ветроэнергетических установок: РД 52.04.275-89: методические указания. — Утв. Гос. комитетом СССР по гидрометеорологии / М. М. Борисенко [и др.]; Гос. комитет СССР по гидрометеорологии. — М.: Госкомгидромет, 1991. — 57 с.
- Conducting survey work to evaluate wind energy potential for the validation of wind power plant layouts and designs: RD 52.04.275-89: guidelines: approved by the USSR State Committee for Hydrometeorology. M. M. Borisenko [et al]; The USSR State Committee for Hydrometeorology. Moscow, Goskomhydromet, 1991, 57 p. (In Russian).
19. Курбацкий В. Г., Шакиров В. А. Методическое и программное обеспечение для оценки ветроэнергетического потенциала северо-востока России // Вестн. Иркут. гос. техн. ун-та. — 2020. — 24 (1). — С. 145—163. — DOI: 10.21285/1814-3520-2020-1-145-163.
- Kurbatsky V. G., Shakirov V. A. Methodology and software for assessing the wind energy potential of the northeast of Russia. Vestnik of Irkutsk State Technical University, 2020, 24 (1), pp. 145—163. DOI: 10.21285/1814-3520-2020-1-145-163. (In Russian).
20. Иванова И. Ю., Тугузова Т. Ф., Халгаева Н. А. Определение оптимальной мощности возобновляемого источника энергии для изолированного от энергосистемы потребителя // Изв. РАН. Энергетика. — 2014. — № 3. — С. 22—28.
- Ivanova I. Yu., Tuguzova T. F., Khalgaeva N. A. Determination of optimal capacity of renewable energy source for isolated consumer. Izvestia of the Russian Academy of Sciences. Energy, 2014, no. 3, pp. 22—28. (In Russian).
21. Saneev B. G., Ivanova I. Yu., Shakirov V. A. Assessment of Indicators of Solar and Wind Energy Potential of the Republic of Sakha (Yakutia). Geography and Natural Resources, 2022, vol. 43, suppl. 1, pp. S74—S79. DOI: 10.1134/S187537282205016X.
22. Иванова П. Ю., Потравная Е. В. Социально-экономическое развитие поселка Тикси в российской Арктике: стратегия и потенциал роста // Арктика: экология и экономика. — 2020. — № 4(40). — С. 117—129. — DOI: 10.25283/2223-4594-2020-4-117-129.
- Ivanova P. Yu., Potravnaya E. V. Socio-economic development of the village of Tiksi in the Russian Arctic: strategy and growth potential. Arctic: Ecology and Economy, 2020, no. 4 (40), pp. 117—129. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-4-117-129. (In Russian).
23. Shakirov V. A., Fedyaev A. A. Accounting for the Impact of Blade Icing on Wind Energy Production According to Weather Station Data. 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). Vladivostok, 2020, pp. 1—5. DOI: 10.1109/FarEastCon50210.2020.9271226.

Информация об авторах

Иванова Ирина Юрьевна, кандидат экономических наук, заведующая лабораторией энергоснабжения децентрализованных потребителей, Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева Сибирского отделения РАН (664033, Россия, Иркутск, ул. Лермонтова, д. 130), e-mail: nord@isem.irk.ru.

Тугузова Татьяна Федоровна, кандидат технических наук, Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева Сибирского отделения РАН (664033, Россия, Иркутск, ул. Лермонтова, д. 130), e-mail: sever@isem.irk.ru.

Шакиров Владислав Альбертович, кандидат технических наук, Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева Сибирского отделения РАН (664033, Россия, Иркутск, ул. Лермонтова, д. 130), e-mail: shakirov@isem.irk.ru.

Халгаева Надежда Александровна, научный сотрудник, Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева Сибирского отделения РАН (664033, Россия, Иркутск, ул. Лермонтова, д. 130), e-mail: khalgaeva@isem.irk.ru.

ASSESSING THE SCALE OF WIND ENERGY RATIONAL USE IN REMOTE AREAS OF THE EASTERN RUSSIAN ARCTIC

Ivanova, I. Yu., Tuguzova, T. F., Shakirov, V. A., Khalgaeva, N. A.

Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Irkutsk, Russian Federation)

The article was received on April 27, 2024

For citing

Ivanova I. Yu., Tuguzova T. F., Shakirov V. A., Khalgaeva N. A. Assessing the scale of wind energy rational use in remote areas of the eastern Russian Arctic. Arctic: Ecology and Economy, 2024, vol. 14, no. 3, pp. 406—416. DOI: 10.25283/2223-4594-2024-3-406-416. (In Russian).

Abstract

The authors assess the wind potential indicators and the scale of its use for power supply of hard-to-reach off-grid settlements in the eastern Russian Arctic.

The primary challenge facing autonomous power plants is fuel delivery due to long distances and underdeveloped transport infrastructure. The use of wind power plants will reduce fuel consumption and cut the cost of energy production. The researchers use ground-based measurement data and the characteristics of existing autonomous power plants as initial data when assessing the rational capacity of wind power plants. They employ authoring research methods. Via Wind-MCA program they estimate wind potential indicators: average wind speed, capacity factor, and coefficient of wind speed variation. The research results are presented in cartographic form. The rational capacities of wind power plants as part of hybrid energy systems are determined using the generalized dependencies method based on the maximum load of a populated area and calculated wind potential indicators, taking into account the characteristic intra-annual distribution of wind speeds. The best conditions for the development of wind energy are observed on the coast of the Arctic seas in the Krasnoyarsk Territory and the Chukot Autonomous Area. The rational capacity of wind power plants in zones of high wind potential in hard-to-reach areas of eastern Russian Arctic is estimated at 12,5 MW.

Keywords: *wind potential, eastern Arctic, power supply, coast of the Arctic seas, rational capacity, wind power plants, hybrid energy systems, priority placement.*

Funding

The research was carried out within the framework of the state assignment project FWEU-2021-0004 on the topic “Comprehensive studies of the priorities of spatial energy development in the Asian regions of Russia, considering trends in the technological development of the country’s energy sector and energy cooperation with the countries of North-East Asia”.

Information about the authors

Ivanova, Irina Yurievna, PhD of Economic Science, Head of the Laboratory of energy supply to off-grid consumers, Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (130, Lermontov St., Irkutsk, Russia, 664033), e-mail: nord@isem.irk.ru..

Tuguzova, Tatiana Fyodorovna, PhD of Engineering Science, Senior Researcher, Laboratory of energy supply to off-grid consumers, Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (130, Lermontov St., Irkutsk, Russia, 664033), e-mail: sever@isem.irk.ru.

Shakirov, Vladislav Albertovich, PhD of Engineering Science, Senior Researcher, Laboratory of Energy Sector in Siberia and Far East, Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (130, Lermontov St., Irkutsk, Russia, 664033), e-mail: shakirov@isem.irk.ru.

Khalgaeva, Nadezhda Aleksandrovna, Researcher, Laboratory of energy supply to off-grid consumers, Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (130, Lermontov St., Irkutsk, Russia, 664033), e-mail: khalgaeva@isem.irk.ru.

© Ivanova I. Yu., Tuguzova T. F., Shakirov V. A., Khalgaeva N. A., 2024