



КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СРЕДНЕГОДОВОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПАРКА ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ПРИМЕРЕ СОЛОВЕЦКОГО АРХИПЕЛАГА*

А.И. Кангаи, П.А. Марьяндышев

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова
д. 17, наб. Северной Двины, г. Архангельск, 163002, Россия
тел.: +7(8182) 21-61-79; e-mail: p.marjandyshiev@narfu.ru

doi: 10.15518/isjaee.2019.22-27.021-029

Заключение совета рецензентов: 15.03.19 Заключение совета экспертов: 25.04.19 Принято к публикации: 10.06.19

В статье рассматривалась проблема энергообеспечения удаленных северных территорий на примере Соловецкого архипелага. На территории Российской Арктики находится большое количество удаленных населенных пунктов, не подключенных к системе централизованного электроснабжения. Энергообеспечение этих районов осуществляется маломощными электростанциями, работающими на дизельном топливе. В связи с большими затратами на транспортировку топлива стоимость производства энергии для таких систем высока. Помимо этого, при транспортировке существует риск разливов и утечек топлива. В качестве одного из вариантов решения данных проблем анализировалась возможность использования собственных энергоресурсов, в частности энергии ветра. Древесное топливо не может быть использовано на островах, так как вырубка лесов запрещена на территории архипелага.

Исследован ветроэнергетический потенциал Соловецкого архипелага, проанализированы метеоданные о скорости и направлении ветра за период с 2000 г. по 2017 г. для высоты 50 м исследовательского центра NASA Langley. Анализ метеоданных за 18 лет позволил построить розу ветров, с высокой точностью характеризующую климат ветров для данной местности. В ходе исследования проведено моделирование работы парка ветроэнергетических установок и вычисление среднегодовой производительности ветропарка с помощью программного обеспечения WindSim, которое применяет вычислительную гидродинамику для оптимизации размещения ветроэнергетических установок на сухопутных и морских электростанциях.

В результате исследования вычислены среднегодовая производительность парков ветроэнергетических установок, расположенных в разных частях острова. Для понимания влияния расположения установок относительно друг друга на среднегодовую производительность были испытаны три модели потерь. Установлено, что потери для выбранного местоположения достигают 9,9 %. В результате сравнения среднегодовой производительности парка ВЭУ в летний и зимний периоды было определено, что зимой производительность выше, чем летом, это имеет значение при эксплуатации парка в северных условиях. В будущем данное исследование может стать основой для внедрения возобновляемых ветроэнергетических технологий на отдаленных островах в Арктическом регионе.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика; ветродизельные установки; оценка ветроэнергетического потенциала; холодный климат; вычислительная гидромеханика; численное моделирование; WindSim.

* Кангаи А.И., Марьяндышев П.А. Комплексное исследование среднегодовой производительности парка ветроэнергетических установок на примере Соловецкого архипелага // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE), 2019;22-27:21-29.



COMPLEX RESEARCH OF THE ANNUAL WINDPARK ENERGY PRODUCTION ON THE EXAMPLE OF THE SOLOVETSKY ARCHIPELAGO

A.I. Kangash, P.A. Maryandyshev

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov
17 Severnaya Dvina Embankment, Arkhangelsk, 163002, Russia
tel.: +7 (8182) 21 61 79, e-mail: p.marjandyshev@narfu.ru

doi: 10.15518/isjaee.2019.22-27.021-029

Referred 15 March 2019 Received in revised form 25 April 2019 Accepted 10 June 2019

The article deals with the problem of energy supply to remote northern territories on the example of the Solovetsky Archipelago. In the Russian Arctic, there are a large number of remote settlements that are not connected to the centralized power supply system. The power supply of these areas is most often carried out by low-capacity power plants on diesel fuel. Electricity generation from diesel is very expensive because the fuel needs to be shipped over long distances. In addition, there is a risk of spills and fuel leaks during transportation. The article considers the possibility of using own energy resources of the island, in particular wind energy, as one of the solutions to these problems. Wood fuel cannot be used on the islands, as deforestation is prohibited in the archipelago.

The wind power potential of the Solovetsky Archipelago is investigated to confirm the possibility of using wind energy. Weather data on wind speed and wind direction is analyzed for the period from 2000 to 2017 for a height of 50 m. NASA Langley Research Center data are used. As a result of data analysis for 18 years, a wind rose is built. During the study, modeling of the operation of the wind park and calculation of the annual energy production are carried out with WindSim software. WindSim uses computational fluid dynamics to optimize the placement of wind power plants on shore and offshore power plants.

As a result of the study, the annual energy production of wind parks located in different parts of the island is calculated. Three wake models are tested to understand the effect of the location of the wind turbines relative to each other on the annual energy production. The loss for the selected location is found to reach 9.9%. As a result of comparing the annual energy production of the wind park in summer and winter, in winter the productivity is found to be higher than in summer, which is important when the wind park is operated in northern conditions. This case study will encourage the implementation of renewable wind energy technologies in remote islands in the Arctic region.

Keywords: renewable energy; wind diesel plants; wind potential assessment; cold climate; computational fluid dynamics; numerical simulation; WindSim.



*Павел Андреевич
Марьяндышев
Pavel Maryandyshev*

Сведения об авторе: канд. техн. наук, директор Высшей школы энергетике, нефти и газа САФУ имени М.В. Ломоносова.

Образование: аспирантура на кафедре тепло-техники САФУ имени М.В. Ломоносова (2010 г.), магистратура Университета прикладных наук, город Аахен, Германия (2013 г.).

Область научных интересов: альтернативные источники энергии; совершенствование технологий энергетического использования твердых возобновляемых топлив; ветроэнергетические установки; мобильные альтернативные источники энергии для условий Крайнего Севера.

Публикации: более 30.

Information about the author: Ph.D. in Engineering, Director of the Higher School of Energy, Oil and Gas of the NArFU named after M.V. Lomonosov.

Education: postgraduate studies at the Department of Power and Heat Engineering of the NArFU named after M.V. Lomonosov, 2010; magistracy at the University of Applied Sciences, Aachen, Germany, 2013.

Research interests: alternative energy sources; improvement of energy technologies for solid renewable fuels; wind power plants; mobile alternative energy sources for the conditions of the Far North.

Publications: more than 30.





Алексей Игоревич
Кангаш
Aleksei Kangash

Сведения об авторе: инженер Комплексно-го центра обучения в сфере энергоэффективности Высшей школы энергетики, нефти и газа САФУ имени М.В. Ломоносова.

Образование: магистратура на кафедре теплоэнергетики и теплотехники САФУ имени М.В. Ломоносова (2019 г.).

Область научных интересов: гибридные энергосистемы на базе альтернативных источников энергии; численное моделирование на основе вычислительной гидродинамики.

Публикации: 10.

Information about the author: Engineer of the Complex Training Center for Energy Efficiency of the Higher School of Energy, Oil and Gas of the NArFU named after M.V. Lomonosov.

Education: magistracy at the Department of Power and Heat Engineering of the NArFU named after M.V. Lomonosov, 2019.

Research interests: hybrid energy systems based on alternative energy sources; numerical simulation based on computational fluid dynamics.

Publications: 10.

1. Введение

Российская Федерация характеризуется большим количеством удаленных населенных пунктов, расположенных на севере. Электроснабжение этих районов чаще всего осуществляется маломощными электростанциями, работающими на традиционном органическом топливе. Общая мощность дизельных электростанций, работающих на Крайнем Севере России, составляет более 3 млн кВт, а производство электроэнергии составляет около 15 млрд кВт·ч, ежегодно импортируется около 5÷6 млн т дизельного топлива [1]. Поскольку топливо необходимо транспортировать на большие расстояния, стоимость производства электроэнергии значительно увеличивается [2]. При этом многие дизельные электростанции работают на устаревшем оборудовании, характеризующемся сниженным коэффициентом полезного действия (КПД) и увеличенным расходом топлива, следовательно, производство энергии имеет более высокую стоимость. Помимо экономических проблем, существуют и экологические. Транспортировка в суровых климатических условиях связана с повышенным риском разливов и утечек топлива [3, 4]. Выбросы загрязняющих веществ от дизель-генераторных установок оказывают негативное воздействие на окружающую среду. В связи с этим необходимо модернизировать существующие системы энергоснабжения за счет современных и эффективных технологий.

Российская Арктика является интересным примером для изучения вопросов, связанных с применением возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [2]. Существует возможность создания надежной и эф-

фективной системы электроснабжения для отдаленных территорий, которая будет использовать местные возобновляемые источники энергии. В основном северные территории децентрализованного энергоснабжения расположены в зоне высокого ветрового потенциала, поэтому ветроэнергетика рассматривается как один из вариантов. Международный опыт показывает, что системы ВИЭ, не включенные в систему центрального электроснабжения, могут обеспечить технически осуществимое и экономически обоснованное решение энергетических проблем, с которыми сталкиваются отдаленные районы [5–8].

В ходе исследования впервые проведена оценка ветроэнергетических ресурсов поселка Соловецкий, расположенного в Арктической зоне Российской Федерации на территории Соловецкого архипелага. Соловецкий архипелаг является примером удаленной северной территории со всеми присущими ей экономическими и экологическими проблемами в области энергообеспечения. При внедрении ветроэнергетических установок (ВЭУ) необходима предварительная оценка возможного потенциала выработки электрической энергии. Поскольку ветроэнергетические ресурсы Соловецких островов, как и многих других территорий Арктической зоны РФ, недостаточно изучены на данный момент, показатели эффективности работы парка ВЭУ неизвестны.

Целью данной работы является обоснование целесообразности внедрения ветроэнергетических установок на территории Крайнего Севера путем моделирования работы ВЭУ на примере поселка Соловецкий и изучение изменения среднегодовой производительности ветроэнергетических установок в зависимости от их расположения и времени года.

| Список обозначений | |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Аббревиатуры | |
| ВИЭ | Возобновляемые источники энергии |
| ВЭУ | Ветроэнергетическая установка |
| КПД | Коэффициент полезного действия |
| ЮНЕСКО | Организация Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры |



2. Теоретический анализ

На одном из островов Соловецкого архипелага находится поселок Соловецкий, численность населения которого составляет приблизительно 990 человек, а также Соловецкий историко-культурный комплекс, который включен в список объектов Всемирного наследия ЮНЕСКО. Система электроснабжения поселка изолирована, энергообеспечение осуществляется двумя дизельными электростанциями. Топливо завозится только с материка по морю во время летней и осенней морских навигаций, что значительно увеличивает его стоимость и, соответственно, конечную стоимость производимой энергии. В качестве альтернативного варианта энергообеспечения поселка, способного снизить затраты на производство энергии, рассматривается эксплуатация собственных энергетических ресурсов. Однако традиционное для России древесное топливо не может быть использовано, так как вырубка древесины на территории архипелага запрещена. Использование ветроэнергетических ресурсов территории поможет не только уменьшить затраты на транспортировку топлива, но также снизить выбросы загрязняющих веществ за счет сокращения расхода дизельного топлива. Однако на данный момент существует недостаточное количество научных исследований и успешных примеров эксплуатации парков ветроэнергетических установок в северной части России.

Для исследования ветроэнергетического потенциала территории необходимо проведение численно-

го моделирования на основе уравнений вычислительной гидродинамики. Исследования, применяющие методы вычислительной гидродинамики, показали приемлемые результаты, что подтверждается опубликованными работами [9, 10]. В данной работе для всестороннего изучения вопроса в ходе численного моделирования были использованы два варианта возможного расположения парка ВЭУ и три модели потерь.

3. Материалы и методы

В настоящей работе использовались данные проекта POWER, реализуемого исследовательским центром NASA Langley для двух возможных вариантов расположения парка ВЭУ на Большом Соловецком острове [11]. Спутниковые климатологические данные были взяты за период с 2000 г. по 2017 г. для высоты 50 м. Согласно информации исследовательского центра, эти измерения являются достаточно точными, чтобы обеспечить достоверные показания по регионам, где поверхностных метеорологических данных недостаточно или нет совсем. Эти метеорологические данные, их объем и длительность измерений, то есть репрезентативность выборки, обеспечивают необходимую точность представления о ветроэнергетических ресурсах территории.

Полученные данные о направлении и скорости ветра были обработаны, и построена роза ветров, характеризующая климатологию территории (рис. 1а).

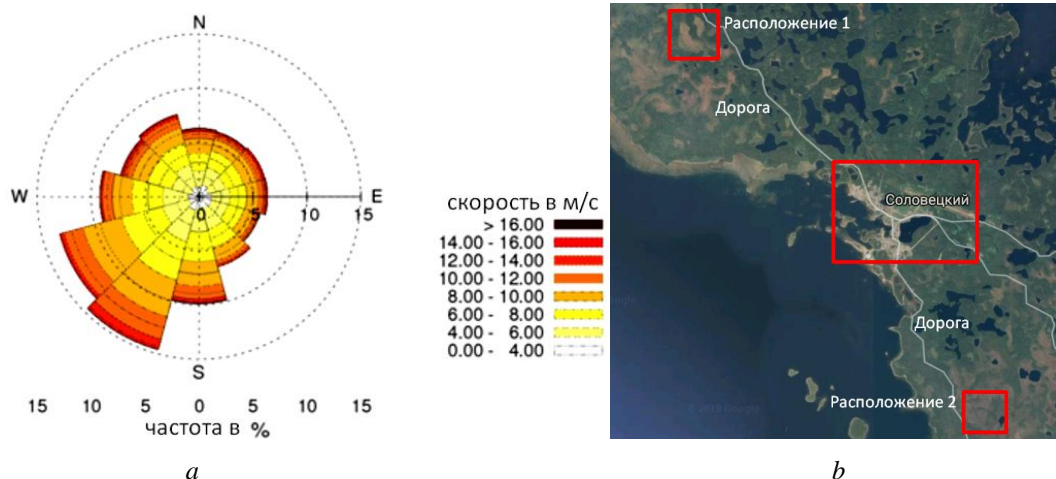


Рис. 1 – Характеристики ветропарка: а – роза ветров; б – варианты расположения парка ВЭУ
 Fig. 1 – Wind park characteristic: Wind Rose (a) and Wind Park locations (b)

Одной из причин выбора возможных участков размещения парка ВЭУ (рис. 1б) является удаленность от культурно-исторических объектов, так как ветровые установки не должны нарушать вид и создавать шум. Другая причина – открытое, свободное пространство, поскольку вырубка леса на территории ЮНЕСКО запрещена. Кроме того, существующие и

близко расположенные дороги могут облегчить транспортировку и снизить стоимость монтажа ВЭУ.

Численное моделирование на основе вычислительной гидродинамики осуществляется с помощью программного обеспечения WindSim, которое представляет собой современный инструмент проектирования парков ветроэнергетических установок, позво-

ляющий оптимизировать их работу с использованием нелинейных математических методов. Создается трехмерная модель местности, область которой делится, образуя сетку (рис. 2). Численное моделирование поведения воздушного потока осуществляется

путем решения уравнений Навье – Стокса, осредненных по Рейнольдсу. Уравнение энергии в данном случае не учитывается, так как температура считается постоянной в области, близкой к поверхности земли.

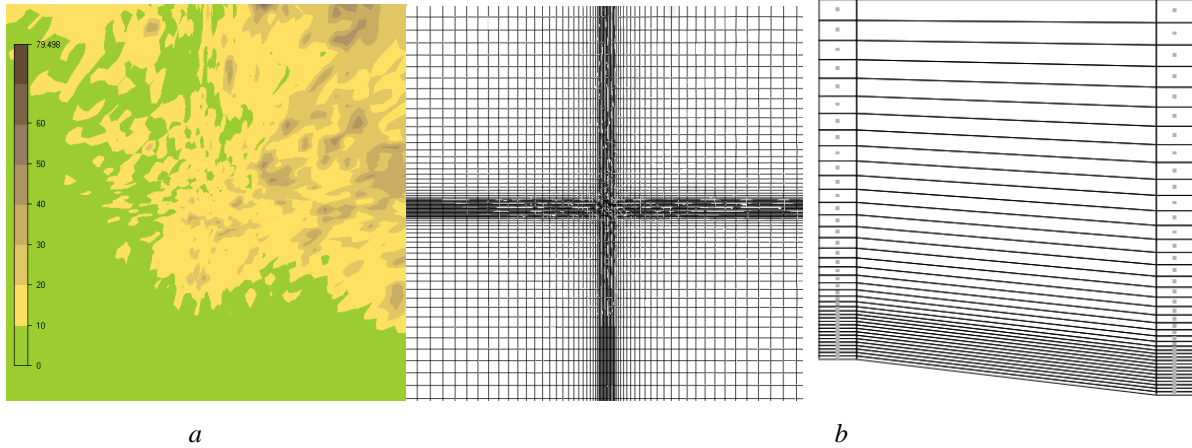


Рис. 2 – Моделирование местности: *a* – карта рельефа; *b* – горизонтальная и вертикальная сетки
Fig. 2 – Terrain modelling: terrain map (*a*) and horizontal and vertical grid resolution (*b*)

В данном исследовании используется дифференциальная модель турбулентности $k-\epsilon$ с двумя уравнениями, детально описанная в [12]. Значение высоты шероховатости поверхности рельефа по умолчанию считывается из файла сетки в WindSim или в качестве альтернативы в модель может быть введена постоянная высота шероховатости путем указания ненулевого значения шероховатости.

Для того чтобы определить влияние рельефа местности на профиль ветра, ячейки, составляющие область моделирования потока, должны иметь различные размеры. Оценка параметров области моделирования имеет большое значение, потому что поведение ветра будет непосредственно зависеть от формы поверхности. В этой работе задействованы три разные модели потерь: Йенсена, Ларсена и Ишихары [13, 14].

На текущем этапе исследования не удалось провести проверку результатов численного моделирования с помощью экспериментов на ветроэнергетических установках и с метеоданными, собранными на местности. В настоящее время на острове отсутствуют ВЭУ; на территории аэропорта расположена единственная метеостанция, которая постоянно ведет наблюдение за скоростью и направлением ветра. Однако измерений, проводимых лишь на высоте 10 м, недостаточно для построения профиля ветра и исследования работы ВЭУ. Кроме того, в этом вопросе требуется значительная материальная поддержка. Проведение следующих мероприятий позволило бы развивать исследование в этой области: установка метеовышки, сбор данных о скорости и направлении ветра, установка ВЭУ небольшой мощности, подтверждение результатов численного моделирования.

4. Результаты и их обсуждение

Для оценки годового производства энергии проводился анализ на основе вычислительной гидромеханики для двух вариантов возможного местоположения парка ВЭУ. Во время численного исследования использовались пять ВЭУ Vestas V90 (высота оси ротора – 80 м, единичная мощность – 2 МВт). Количество ветроустановок и их мощность были выбраны исходя из текущего и будущего потребления энергии. Важно иметь в виду, что планируется рост населения и развития туристической инфраструктуры. Перспективные электрические нагрузки запланированных объектов строительства значительно превышают существующие нагрузки. Для того чтобы удовлетворить будущую потребность в энергии, был учтен рост потребления энергии на период эксплуатации парка ветроустановок.

Значительная часть потребляемой электроэнергии (не менее 50 %) в зимний период расходуется на электроотопление, включенное постоянно. Годовой график (рис. 3) демонстрирует снижение нагрузки в летний период практически в два раза по отношению к зимним максимумам, что связано с повышением температуры воздуха и увеличением продолжительности светового дня, но отчасти компенсируется ростом энергопотребления объектов туристического комплекса.

Внедряя ветроэнергетические установки, необходимо понимать возможный будущий потенциал выработки электрической энергии. Для этого выполня-



ется оценка ресурсов ветра и вычисляется среднегодовое производство энергии. В статье [15] представлено исследование ветровых ресурсов Арктической зоны Российской Федерации, в результате которого была составлена карта ветроэнергетического потенциала. Карта позволяет сделать предварительную оценку ветроэнергетического потенциала той или иной территории Арктической зоны РФ. Однако для эффективного расположения ВЭУ на конкретной территории необходимо более детальное исследование. Карты ветровых ресурсов (рис. 4), полученные в результате моделирования, помогают оценить потенциал ветра на территории архипелага. Изучение этих карт помогло сделать вывод о том, что местоположение 1 имеет больший ветроэнергетический потенциал, чем местоположение 2. Кроме того, наибольший потенциал имеет водное пространство, свободное от неровностей и помех для ветра.

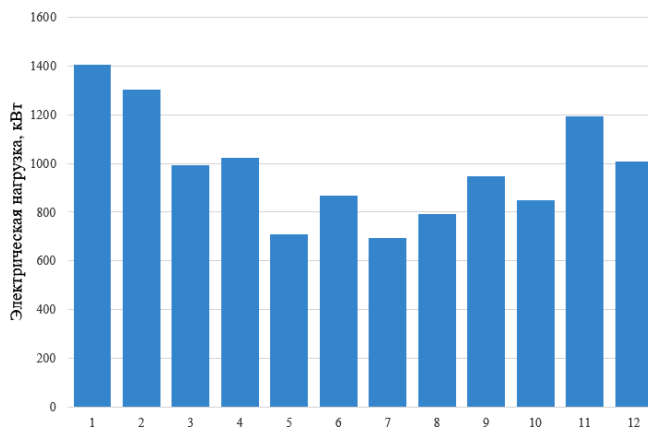


Рис. 3 – Годовой график электрической нагрузки (2018 г.)
Fig. 3 – Annual schedule of electrical load (2018)

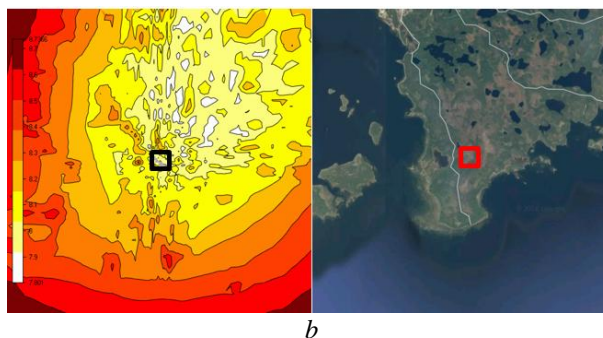
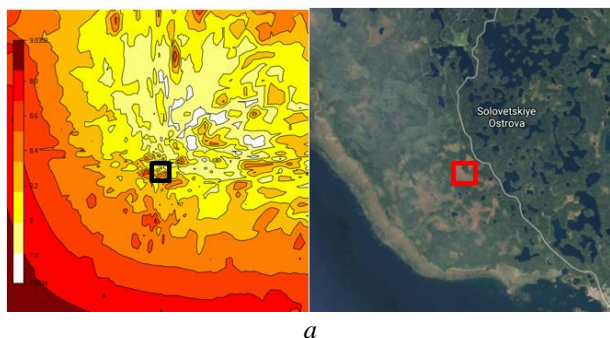


Рис. 4 – Карты ветровых ресурсов на высоте 80 м для местоположения 1 (a) и 2 (b)
Fig. 4 – Wind resource maps at a hub height of 80 meters for location 1 (a) and location 2 (b)

Моделирование для каждого местоположения проводилось для трех разных расстояний (50 м, 100 м и 150 м) между ветроустановками. Результаты расчета среднегодовой производительности ветропарков представлены в табл. 1.

Таблица 1
Результаты расчета среднегодовой производительности (ГВт·ч/год)

Table 1
Annual energy production results (GWh/y)

| | 50 м | 100 м | 150 м |
|------------------|------|-------|-------|
| Местоположение 1 | 41,4 | 41,5 | 41,4 |
| Местоположение 2 | 41,2 | 41,2 | 41,0 |

Разница в результатах среднегодовой производительности ветропарков местоположений 1 и 2 незначительна и может находиться в пределах погрешности вычислений. Однако для дальнейшего исследования было выбрано местоположение 1,

имеющее более высокие показатели. Разница в трех результатах для местоположения 1 еще менее существенна. Учитывая то, что территория на островах ограничена, необходимо максимально эффективно использовать площадь земли. Соответственно, меньшая площадь строительной площадки и меньшее расстояние между ветроустановками предпочтительнее.

Воздушный поток, проходя через ротор ВЭУ, разряжается, создается след разряжения, и следующая ветроэнергетическая установка не может использовать максимум энергии ветрового потока. На стадии проектирования ветропарка очень важно учитывать эти потери и правильно их оценивать, так как от этого зависит точность прогнозируемого производства энергии ветропарка. В табл. 2 показана среднегодовая производительность ветропарка местоположения 1 (50 м) для трех разных моделей потерь.

Таблица 2
 Результаты расчета среднегодовой производительности для трех моделей потерь
 Table 2
 Annual energy production results for three wake loss models

| Модель потерь | Среднегодовая производительность без учета потерь (ГВт·ч/год) | Потери (%) | Среднегодовая производительность с учетом потерь (ГВт·ч/год) |
|---------------|---------------------------------------------------------------|------------|--------------------------------------------------------------|
| Йенсен | 41,4 | 8,6 | 37,8 |
| Ларсен | 41,4 | 3,7 | 39,9 |
| Ишихара | 41,4 | 9,9 | 37,3 |

Из табл. 2 видно, что процент потерь в зависимости от выбранной модели варьируется в диапазоне от 3,7 % до 9,9 %. Очевидно, что потери, меняющиеся даже в небольшом диапазоне, значительно влияют на среднегодовую производительность парка ВЭУ, поэтому важно оптимизировать расстановку установок и уменьшать потери, связанные с разряжением потока и влиянием установок друг на друга.

Учитывая преобладающие электрические нагрузки в зимний период времени, необходимо проанализировать выработку энергии ВЭУ по сезонам. Для проведения исследования климатические данные за пять лет (с 2013 г. по 2017 г.) были разделены на две категории: лето (данные с мая по октябрь каждого года) и зима (с ноября по апрель). Для Соловецких островов средняя температура летнего периода составила +9,2 °С, а средняя температура зимнего периода – –3,5 °С. Средние температуры и средние скорости ветра за пять лет (2013–2017 гг.) представлены на рис. 5.

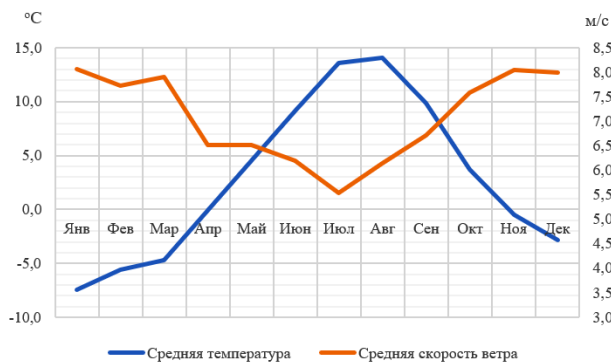


Рис. 5 – Средние температуры и средние скорости ветра
 Fig. 5 – Average temperatures and mean wind speeds

На рис. 5 видно, что летом относительно высоким средним температурам воздуха соответствуют меньшие скорости ветра, обратная картина наблюдается зимой. Основная цель сезонного моделирования состоит в том, чтобы понять разницу в производстве электроэнергии в зависимости от времени года. Можно предположить, что поскольку скорости ветра выше зимой, то и производство энергии будет больше. Для исследования использовались пять ВЭУ Vestas V90 (высота оси ротора – 80 м, единичная

мощность – 2 МВт). Результаты сезонных исследований представлены на рис. 6.

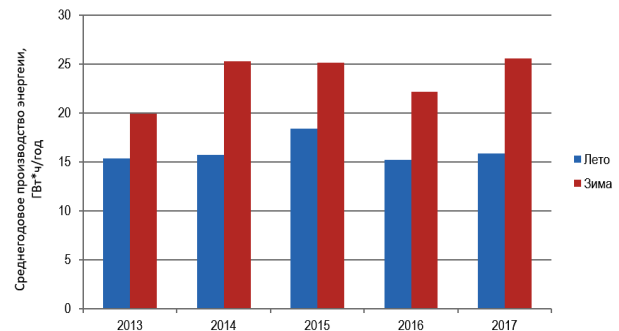


Рис. 6 – Распределение производства энергии по сезонам
 Fig. 6 – Seasonal comparison of annual energy production

Моделирование показало, что выработка энергии ветроустановками в зимний период выше, чем в летний. Данные результаты хорошо согласуются с сезонным графиком электрических нагрузок поселка (см. рис. 3), и большее производство энергии зимой совпадает с увеличением нагрузки, требуемой в зимний период. Это также указывает на то, что выработка электроэнергии ветропарками, расположенными в холодных регионах, может быть выше по сравнению с идентичными ветропарками, расположенными в более теплых умеренных климатических условиях. Однако, чтобы извлечь выгоду из этого, необходимо заниматься решением проблем, связанных с обеспечением, что станет темой следующего исследования.

5. Заключение

Оценка ресурсов ветра, имеющихся на острове Соловецкий в Арктическом регионе, выявила возможность применения ветроэнергетических установок для энергообеспечения поселка Соловецкий, что впоследствии позволило бы сократить использование дизельного топлива.

В результате подробного анализа метеорологических данных за 18 лет были получены точные данные о скорости и направлении ветра, характеризующие территорию архипелага, а также построена роза ветров.

Моделирование на основе вычислительной гидромеханики для оценки возможности создания ветропарка в регионе позволило получить карты распределения ветровых ресурсов для территории Соловецкого архипелага.

Моделирование для двух различных местоположений, выбранных на основе логистики и снижения уровня шумового загрязнения, показало, что среднегодовая производительность парка ВЭУ, расположенного в северной части острова, выше, чем в южной части.

Три модели потерь, испытанные для более глубокого понимания эффекта влияния установок друг на друга и на итоговую среднегодовую производительность, дали представление о возможном диапазоне потерь для выбранной конфигурации расположения ВЭУ.

При сравнении выработки энергии ВЭУ в летний и зимний периоды на основании анализа графика сезонных нагрузок поселка было установлено, что парк ветроустановок может в достаточной мере обеспечить поселок энергией.

Дальнейшим направлением развития исследования станет сравнение использованных для моделирования спутниковых данных с данными о средних скоростях ветра на высоте 10 м, полученных с реальных метеостанций для корреляции. В будущем это исследование может стать основой для внедрения возобновляемых ветроэнергетических технологий на отдаленных островах в Арктическом регионе. Альтернативные технологии позволят обеспечить рациональное использование ограниченных энергетических и экономических ресурсов, обеспечить бережное отношение к окружающей среде и культурному наследию и повысить привлекательность туризма.

Список литературы

[1] Елистратов, В.В. Ветродизельные электростанции для автономного энергоснабжения северных территорий России / В.В. Елистратов, М.А. Конищев // *Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE)*. – 2014. – № 11. – С. 62–71.

[2] Boute, A. Off-grid renewable energy in remote Arctic areas: An analysis of the Russian Far East / A. Boute // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2016. – No. 59. – P. 1029–1037.

[3] IEA – RETD (Renewable Energy Technology Deployment) Final Report [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: iea-retd.org/wp-content/uploads/2012/06/IEA-RETD-REMOTE.pdf. – (Дата обращения: 11.01.2019.).

[4] Bhattarai, P.R. Optimizing an off-grid electrical system in Brochet, Manitoba, Canada / P.R. Bhattarai, S. Thompson // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2016. – No. 53. – P. 709–719.

[5] Wisner, R. Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [Электронный ресурс] / R. Wisner [et al.] // *Wind energy*. – 2011. – Режим доступа: [http://srren.ipcc-](http://srren.ipcc-wg3.de/report/IPCC_SRREN_Ch07.pdf)

wg3.de/report/IPCC_SRREN_Ch07.pdf. – (Дата обращения: 11.01.2019).

[6] Shivarama Krishna, K. A review on hybrid renewable energy systems / K. Shivarama Krishna, K. Sathish Kumar // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2015. – No. 52. – P. 907–916.

[7] Weis, T. Assessing the potential for a wind power incentive for remote villages in Canada / T. Weis, A. Ilincă // *Energy Policy*. – 2010. – No. 38. – P. 5504–5511.

[8] Souba, F. Chaniuk Wind Group: Lessons learned beyond wind integration for remote Alaska / F. Souba, P.B. Mendelson // *The Electricity Journal*. – 2018. – No. 31. – P. 40–47.

[9] Dose, B. Fluid-structure coupled computations of the NREL 5 MW wind turbine by means of CFD / B. Dose [et al.] // *Renewable Energy*. – 2018. – No. 129. – P. 591–605.

[10] Wang, Q. Micrositing of roof mounting wind turbine in urban environment: CFD simulations and lidar measurements / Q. Wang [et al.] // *Renewable Energy*. – 2018. – No. 115. – P. 1118–1133.

[11] NASA LaRCPOWER Project [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://power.larc.nasa.gov>. – (Дата обращения: 10.01.2019.).

[12] Kim, H.G. Test of turbulence models for wind flow over terrain with separation and recirculation / H.G. Kim, V.C. Patel // *Boundary-Layer Meteorology*. – 2000. – No. 94. – P. 5–21.

[13] Larsen, G.C. A Simple Wake Calculation Procedure / G.C. Larsen. – Risø National Laboratory: Denmark, 1988.

[14] Ishihara, T. Development of a New Wake Model Based on a Wind Tunnel Experiment in Glob. Wind Power [Электронный ресурс] / T. Ishihara, A. Yamaguchi, Y. Fujino – 2004. – Режим доступа: <http://windeng.t.u-tokyo.ac.jp/ishihara/e/>. – (Дата обращения: 10.01.2019.).

[15] Габдерахманова, Т.С. Некоторые аспекты развития возобновляемой энергетики в Арктической зоне РФ / Т.С. Габдерахманова, С.В. Киселева, О.С. Попель, А.Б. Тарасенко // *Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE)*. – 2016. – № 19–20. – С. 41–53.

References

[1] Elistratov V.V., Konishchev M.A. Wind-diesel power systems for standalone energy supply of Russian Northern territories (Vetrodizel'nye elektrostantsii dlya avtonomnogo energosnabzheniya severnykh territorii Rossii). *International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAEE)*, 2014;(11):62–71 (in Russ.).

[2] Boute A. Off-grid renewable energy in remote Arctic areas: An analysis of the Russian Far East. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016;(59):1029–1037.

[3] IEA – RETD (Renewable Energy Technology Deployment), Final Report, 2012 [E-resource]. Available on:



iea-retd.org/wp-content/uploads/2012/06/IEA-RETD-REMOTE.pdf. (11.01.2019).

[4] Bhattarai P.R., Thompson S. Optimizing an off-grid electrical system in Brochet, Manitoba, Canada. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016;53:709–719.

[5] Wiser R., Yang Z., Hand M., Hohmeyer O., Infield D., Jensen P.H., et.al. Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, 2011 [E-resource]. Available on: http://srren.ipcc-wg3.de/report/IPCC_SRREN_Ch07.pdf. (11.01.2019).

[6] Shivarama Krishna K., Sathish Kumar K. A review on hybrid renewable energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015;52:907–916.

[7] Weis T., Ilinca A. Assessing the potential for a wind power incentive for remote villages in Canada. *Energy Policy*, 2010;38:5504–5511.

[8] Souba F., Mendelson P.B. Chaninik Wind Group: Lessons learned beyond wind integration for remote Alaska. *The Electricity Journal*, 2018;31:40–47.

[9] Dose B., Rahimi H., Herraes I., Stoevesandt B., Peinke J. Fluid-structure coupled computations of the NREL 5 MW wind turbine by means of CFD. *Renewable Energy*, 2018;129:591–605.

[10] Wang Q., Wng J., Hou Y., Yuan R., Luo K., Fan J. Micrositing of roof mounting wind turbine in urban environment: CFD simulations and lidar measurements. *Renewable Energy*, 2018;115:1118–1133.

[11] NASALaRCPOWERProject [E-resource]. Available on: <https://power.larc.nasa.gov>. (10.01.2019).

[12] Kim H.G., Patel V.C. Test of turbulence models for wind flow over terrain with separation and recirculation. *Boundary-Layer Meteorology*, 2000;94:5–21.

[13] Larsen G.C. A Simple Wake Calculation Procedure. Risø National Laboratory: Denmark, 1988.

[14] Ishihara T., Yamaguchi A., Fujino Y. Development of a New Wake Model Based on a Wind Tunnel Experiment in Glob. Wind Power [E-resource]. Available on: <http://windeng.t.u-tokyo.ac.jp/ishihara/e/> (10.01.2019).

[15] Gabderakhmanova T.S., Kiseleva S.V., Popel' O.S., Tarasenko A.B. Some Aspects of Renewable Energy Development in the Arctic Zone of the Russian Federation (Nekotorye aspekty razvitiya vozobnovlyaemoi energetiki v Arkticheskoi zone RF). *International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAE)*, 2016;(19–20):41–53 (in Russ.).

Транслитерация по BSI



ACI's North American Biopolymer Summit will bring together senior executives and experts from biopolymers manufacturers, food packaging, biotechnology, chemical companies, major associations, raw materials, technology companies, consultants, to discuss the latest changes, challenges and developments within the industry.

Some of the essential topics this year, include biopolymers in food packaging, biodegradability, waste management: recycling & composting, biological potential of biopolymers and analyzing & overcoming cost challenges.

Join us in Chicago for two days of exchanging perspectives, learning and excellent networking opportunities with your peers.

You will benefit from the numerous interactive sessions, including case studies, and insightful panel discussions to get the best out of the event.

Key topics:

- Promoting the Potential Advantages of Biopolymers in the Plastic Industry
- Biodegradability- What is it and Why is it Important?
- Renewable Monomer Based Next Generation Biodegradable Polymer Architectures
- Waste Management: Recycling & Composting
- Advancements in Biopolymers Development & Applications
- etc.

<https://www.wplgroup.com/aci/event/biopolymer-summit-usa/>

