



ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА

WIND ENERGY

ВЕТРО-ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

COMBINED WIND AND HYDROGEN ENERGY

Статья поступила в редакцию 24.05.19. Ред. рег. № 2717

The article has entered in publishing office 24.05.19. Ed. reg. No. 2717

УДК 662.997

**АВТОНОМНОЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА  
И ВОДОРОДНОГО АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ\***

***С.И. Нефедкин, А.О. Барсуков, М.И. Мозгова,  
М.С. Шичков, М.А. Климова***

Национальный исследовательский университет «МЭИ»  
д. 14, ул. Красноказарменная, Москва, 111250, Россия  
тел.: +7 (495) 362-73-55; e-mail: snefedkin@mail.ru

doi: 10.15518/isjaee.2019.16-18.12-26

Заключение совета рецензентов: 30.05.19 Заключение совета экспертов: 05.06.19 Принято к публикации: 10.06.19

Предложена альтернативная схема гарантированного электротеплоснабжения энергоизолированного объекта с высоким потенциалом ветровой энергии без использования привозного или местного топлива. Схема содержит ветроэнергетический комплекс из парка ветрогенераторов, размещенных в точках с высоким потенциалом ветра, которые обеспечивают гарантированное электроснабжение даже в периоды слабого ветра. Для теплоснабжения потребителя весь избыток электроэнергии идет на термоэлектрический нагрев воды в баках накопителей, а также на получение водорода методом электролиза воды. Текущее теплоснабжение осуществляется с использованием горячей воды баков-накопителей, а теплоснабжение в период дефицита тепловой энергии – за счет сжигания запасенного водорода в конденсационных водородных котлах. Разработан алгоритм расчета и программа «Wind in energy», которые позволяют рассчитать годовой баланс энергии и подобрать необходимое количество оборудования для реализации схемы исходя из годового графика тепловой и электрической нагрузки, а также потенциала ветровой энергии в выбранном регионе. Проведено расчетное обоснование предложенной схемы применительно к реальному энергоизолированному объекту – поселку Усть-Камчатск (Камчатка). Подобрано оборудование для реализации альтернативной схемы энергоснабжения без использования привозного топлива и проведено ее сравнение с традиционной схемой энергоснабжения на базе дизельной электростанции и котельной, работающих на привозном топливе. При внедрении альтернативной схемы энергоснабжения оборудование отработавшей свой ресурс традиционной схемы может быть задействовано для резервного энергоснабжения. С помощью климатических баз данных рассмотрен ряд энергоизолированных объектов на севере и востоке России с высоким потенциалом ветровой энергии и проанализированы условия для успешной реализации предложенной схемы энергоснабжения. Установлено, что для этого необходимы не только высокие значения среднегодовой скорости ветра, но и минимальное количество дней слабого ветра, и, кроме того, чтобы профиль распределения скорости ветра в годовом разрезе совпадал с профилем потребления тепловой нагрузки.

\*Нефедкин С.И., Барсуков А.О., Мозгова М.И., Шичков М.С., Климова М.А. Автономное энергоснабжение с использованием ветроэнергетического комплекса и водородного аккумулирования энергии // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE), 2019;16-18:12-26.



Ключевые слова: автономное энергоснабжение; возобновляемые источники энергии; ветрогенератор; водородное аккумулирование энергии; электролизер; водородный котел.

## AUTONOMOUS ENERGY SUPPLY BASED ON THE WIND-ENERGY COMPLEX AND HYDROGEN ENERGY STORAGE

*S.I. Nefedkin, A.O. Barsukov, M.I. Mozgova, M.S. Shichkov, M.A. Klimova*

National Research University "MEI"  
14 Krasnokazarmennaya St., Moscow, 111250, Russia  
tel.: +7 (495) 362 73 55, e-mail: snfedkin@mail.ru

doi: 10.15518/isjaee.2019.16-18.12-26

Referred 30 May 2019 Received in revised form 5 June 2019 Accepted 10 June 2019

The paper proposes an alternative scheme of guaranteed electricity and heat supply of an energy-insulated facility with a high potential of wind energy without the use of imported or local fuel. The scheme represents a wind power complex containing the park of wind generators located at the points with high wind potential. The wind generators provide guaranteed power supply even in periods of weak wind. For heat supply of the consumer, all surplus of the electric power goes on thermoelectric heating of water in tanks of accumulators, and also on receiving hydrogen by a method of electrolysis of water. The current heat supply is carried out with the use of hot water storage tanks, and the heat supply during the heat shortage is carried out by burning the stored hydrogen in condensing hydrogen boilers. We have developed the algorithm of calculation and the program "Wind in energy" which allows calculating annual balance of energy and picking up necessary quantity of the equipment for implementation of the scheme proceeding from the annual schedule of thermal and electric loading, and also potential of wind energy in the chosen region. The calculation-substantiation of the scheme proposed in relation to the real energy-insulated object Ust-Kamchatsk (Kamchatka) is carried out. The equipment for the implementation of an alternative energy supply scheme without the use of imported fuel is selected and compared with the traditional energy supply scheme based on a diesel power plant and a boiler house operating on imported fuel. With the introduction of an alternative power supply scheme, the equipment of the traditional scheme that has exhausted its resource can be used for backup power supply. Using climate databases, a number of energy-insulated facilities in the North and East of Russia with high wind energy potential are considered and the conditions for the successful implementation of the energy supply scheme are analyzed. This requires not only a high average annual wind speed, but also a minimum number of days of weak wind. In addition, it is necessary that the profile of the wind speed distribution in the annual section coincides with the profile of the heat load consumption.

Keywords: autonomous power supply; renewable energy sources; wind generator; hydrogen energy storage; electrolyzer; hydrogen boiler.



*Сергей Иванович  
Нефедкин  
Sergey Nefedkin*

**Сведения об авторе:** д-р техн. наук, профессор Национального исследовательского университета «МЭИ», директор Федерального центра коллективного пользования «Водородная энергетика и электрохимические технологии».

**Образование:** факультет промышленной теплоэнергетики МЭИ (1977 г.), аспирантура (1980 г.) и докторантура (2004 г.) МЭИ.

**Область научных интересов:** прикладная электрохимия; электрокатализ; топливные элементы; водородная и электрохимическая энергетика; автономное энергообеспечение робототехнических устройств.

**Публикации:** более 130, включая 15 патентов.

**Information about the author:** D.Sc. in Engineering, Professor at the National Research University "MEI", Director of the Federal Center for Collective Use "Hydrogen Energy and Electrochemical Technologies".

**Education:** Faculty of Industrial Heat and Power Engineering at Moscow Power Engineering Institute, 1977; postgraduate study (1980) and doctoral studies (2004) at Moscow Power Engineering Institute.

**Research interests:** applied electrochemistry; electrocatalysis; fuel cells; hydrogen and electrochemical energy; autonomous energy supply of robotic devices.

**Publications:** more than 130, including 15 patents.



Алексей Олегович Барсуков  
Aleksei Barsukov

**Сведения об авторе:** инженер производственной службы эксплуатации и наладки ПАО «Передвижная энергетика».

**Образование:** НИУ МЭИ, магистр (2016 г.).

**Область научных интересов:** возобновляемая энергетика; автономные источники энергоснабжения; накопители энергии; современные проблемы энергетической эффективности.

**Публикации:** 1.

**Information about the author:** Engineer at the production service of operation and adjustment of "Mobile Energy".

**Education:** NRU MEI, Master, 2016.

**Research interests:** renewable energy; independent sources of energy supply; energy storage; modern problems of energy efficiency.

**Publications:** 1.



Марина Игоревна  
Мозгова (Крючкова)  
Marina Mozgova

**Сведения об авторе:** магистр, аспирант Национального исследовательского университета «МЭИ».

**Образование:** НИУ «МЭИ», факультет «Институт проблем энергетической эффективности» (2014 г.).

**Область научных интересов:** водородная и электрохимическая энергетика; альтернативная энергетика.

**Публикации:** 5 и 1 методическое пособие.

**Information about the author:** Master, Postgraduate Student at the National Research University "MEI".

**Education:** NRU "MEI", Faculty of Institute of Energy Efficiency Problems, 2014.

**Research interests:** hydrogen and electrochemical energy; alternative energy.

**Publications:** 5 and 1 methodical manual.



Максим Сергеевич Шичков  
Maksim Shichkov

**Сведения об авторе:** ПАО «Мосэнерго».

**Образование:** Магистр НИУ МЭИ (2018 г.).

**Область научных интересов:** водородная и электрохимическая энергетика; альтернативная энергетика.

**Information about the author:** Mose-  
nargo PJSC.

**Education:** Master of NIU MEI, 2018.

**Research interests:** hydrogen and electrochemical energy; alternative energy.



Мария Андреевна Климова  
Maria Klimova

**Сведения об авторе:** аспирант Национального исследовательского университета «МЭИ».

**Образование:** НИУ МЭИ, Автономные энергетические системы. Водородная и электрохимическая энергетика, магистр (2016 г.).

**Область научных интересов:** водородная и электрохимическая энергетика; альтернативная энергетика.

**Публикации:** 5.

**Information about the author:** Post-graduate Student of the National Research University "MEI".

**Education:** NIU MEI, Autonomous Energy Systems. Hydrogen and electrochemical energy, Master, 2016.

**Research interests:** hydrogen and electrochemical energy; alternative energy.

**Publications:** 5.

## Введение

Использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) рассматривается как перспективное и актуальное направление для автономного энергоснабжения потребителей в районах, не имеющих доступа к централизованным электрическим и газо-

вым сетям. В России около 70 % территории не охвачены централизованным электро- и теплоснабжением, почти 75 % не имеют сетевого газоснабжения. Это удаленные изолированные потребители, значительная часть которых находится в северных и восточных регионах страны с суровыми климатически-

ми условиями. На этой территории проживает более 20 млн человек. Энергоснабжение здесь обеспечивается за счет распределенной генерации: только на территории Севера сейчас эксплуатируется свыше 12 тыс. мелких дизельных электростанций, ежегодная потребность которых в топливе составляет более 2 млн тонн. Цена доставляемого туда дизельного топлива превышает 1,5 тыс. долл. за 1 т, что приводит к очень высокой себестоимости вырабатываемой электроэнергии (около 0,35–0,50 долл. за 1 кВт·ч). К этим электростанциям следует добавить почти такое же количество мелких котельных (только в районах Дальнего Востока их число достигает 5 тыс.) [1].

На Севере России свыше 70 % мощностей приходится на неэкологические органические виды топлива (уголь, мазут), транспортировка которых в эти районы стоит очень дорого. Очевидно, энергообеспечение и развитие северных и восточных территорий РФ должны быть тесно связаны с решением экологических проблем и базироваться на новых энергетических технологиях и установках, использующих возобновляемые энергоресурсы (ветроэлектростанции, солнечные электростанции, геотермальные тепловые электростанции).

Мировая ветроэнергетика развивается высокими темпами – в апреле 2019 г. суммарная установленная мощность ветрогенераторов в мире достигла 591 ГВт, что более чем 2 раза превышает общую генерацию России [2]. В последнее время ситуация в России меняется: к 2024 г. планируется ввести в эксплуатацию 3,35 ГВт ветроэлектростанций. В 2019 г. мировой лидер по производству ветрогенераторов компания «Vestas» (17 % от введенной в мире мощности) локализует в г. Ульяновске производство лопастей для мощных ветрогенераторов (единичная мощность до 3,45 мВт) [2]. Такая же работа ведется по производству гондол (Нижегородская область) и башен мощных ветрогенераторов (Ростовская область). Следует отметить, что эти ветрогенераторы, установленной мощностью 3,6 МВт каждый, имеют более высокую эффективность за счет большого диа-

метра винта (136 м), но их доставка и монтаж – сложные технологические процессы, которые требуют специального оборудования.

Атлас ветров России указывает на то, что существует множество районов, где среднегодовая скорость ветра превышает 6,0 м/с, поэтому использование энергии ветра является актуальной задачей [3–6]. Наивысшие среднегодовые значения скорости ветра (6÷7 м/с) зафиксированы вдоль берегов Баренцева, Карского, Берингова и Охотского морей [3–6]). Другие районы с относительно высокой скоростью ветра (5÷6 м/с) включают побережья Восточно-Сибирского, Чукотского морей и моря Лаптевых на севере и Японского моря на востоке. Среднегодовая скорость ветра во многих прибрежных поселках Дальнего Востока составляет 6–7 м/с, что является стимулом для развития ветрогенерации [7].

Для энергоснабжения энергоизолированных объектов в этих районах наиболее интересны ветрогенераторы мощностью от 200 кВт до 800 кВт. Сегодня в мире определились лидеры производства таких ветрогенераторов: ACSA (Испания), Aeronautica Enercon (Германия), EWT (Нидерланды), Gamesa (Испания), Komai (Япония), Leitwind (Италия), NorthernPowerSystems (США, Швейцария), Norwin (Дания), RRBEnergy (Индия), SIVA (Индия), Suzlon (Индия), Turbowinds (Бельгия), Unison (Корея), Vergnet (Франция), WindEnergySolutions (Нидерланды), WindTechnicNord (Германия), Vestas (Дания) [2, 7, 8].

В данной работе рассмотрены возможности использования водорода для практической реализации в России, например, в схемах альтернативного энергоснабжения энергоизолированных потребителей на востоке и севере страны с использованием ветрогенераторов и водорода как эффективного энергоносителя.

Список обозначений	
<u>Буквы греческого алфавита</u>	
$\eta$	КПД
<u>Буквы латинского алфавита</u>	
$E$	Электрическая энергия, кВт·ч
$N$	Электрическая мощность, кВт
$n$	Количество ветрогенераторов, шт.
$Q$	Тепловая энергия, кВт·ч
$W$	Скорость ветра, м/с
<u>Индексы нижние</u>	
$ez$	Энергозатраты
$in$	Инвертор
$t$	Текущий час
$вк$	Водородный котел
<u>Аббревиатуры</u>	
ВГ	Ветрогенератор
ВИК	Ветроизмерительный комплекс



*Продолжение списка обозначений*

ВИЭ	Возобновляемые источники энергии
ВЭС	Ветроэлектростанция
ДЭС	Дизельная электростанция
КИУМ	Коэффициент использования установленной мощности
КПД	Коэффициент полезного действия
СГН	Суточный график нагрузки
ТЭН	Термоэлектрический нагрев

## 2. Теоретический анализ. Альтернативная схема автономного энергоснабжения

Проблема ветрогенераторов заключается в неравномерности поступления ветра и, следовательно, неравномерности графика вырабатываемой электроэнергии. Для компенсации дефицита электроэнергии, поступающей от ветрогенератора, его используют в энергокомплексе с дизель-генератором [7–9]. Такой подход, однако, не отменяет зависимости автономного электроснабжения от привозного топлива, а только снижает его количество. Кроме того, проблема гарантированного теплоснабжения потребителя в такой схеме никак не решается. Как правило, для этого имеется отдельная котельная, работающая часто также на привозном топливе.

Для аккумулирования избытка электрической энергии, поступающей от ветрогенератора, предлагается использовать водород, получаемый посредством электролиза воды [10–12]. Такой способ имеет как достоинства, так и недостатки. Несмотря на то что электролиз воды является энергозатратной технологией, она очень удобная. Например, современные компактные электролизеры контейнерного типа могут работать в режиме переменной производительности и генерировать чистый водород при давлении 30 бар. Для производства 1 кг водорода требуется около 50 кВт часов электроэнергии [3]. Из запасенного водорода можно затем получить электроэнергию в электроустановках на водород-воздушных топливных элементах, которые пока являются дорогостоящими устройствами [3, 11, 13]. В отличие от других способов аккумулирования электрической энергии такой способ накопления энергии рассчитан на большие объемы и длительные периоды, однако энергоэффективность такого преобразования энергии составляет всего  $0,25 \div 0,4$ .

С другой стороны, водород – это самое энергоемкое топливо и идеальный энергоноситель с точки зрения экологичности. Высшая теплотворная способность водорода составляет 140 МДж /кг, что в 3 раза выше, чем у любого углеводородного топлива, и в 4 раза выше, чем у угля. В 2018 г. производство водорода в мире оценивалось в 70 млн тонн/год, причем

доля электролизного водорода составляла лишь около 1 %. Электролизный водород более чистый, но более дорогой по сравнению с паровой конверсией метана. Сегодня электролизный водород используется не в энергетическом секторе, а там, где требуется чистый газ (металлургия, электроника, пищевая промышленность и др.). По оценкам экспертов, общемировые продажи установок для электролиза в 2017 г. оценивались потребляемой электрической мощностью в 100 МВт в год [12]. Этот показатель будет только расти, в первую очередь за счет появления нового сегмента потребления электролизного водорода как эффективного энергоносителя и топлива для автомобилей на топливных элементах [3]. Прогнозируется, что в 2030–2040 гг. развитие технологий ВИЭ и промышленного электролиза позволит снизить стоимость электролизного водорода по сравнению с получаемым из природного газа путём реформинга. Суммарное производство водорода в мире к 2050 г., согласно прогнозам, достигнет 550 млн т /год и примет масштабный характер за счет того, что водород будет востребован в новых сегментах, в частности в транспортном (автомобили на топливных элементах) и коммунальном хозяйствах.

## 3. Экспериментальная часть. Расчет альтернативной схемы автономного энергоснабжения

Схема содержит ветроэнергетический комплекс из парка ветрогенераторов, размещенных в точках с высоким потенциалом ветра, которые обеспечивают гарантированное электроснабжение даже в периоды слабого ветра [3, 9]. Избыток электроэнергии используется для термоэлектрического нагрева воды в баках-накопителях, а также для получения водорода, который идет на теплоснабжение с помощью конденсационных водородных котлов в периоды дефицита тепловой энергии [3, 14]. Применение только баков накопителей не может обеспечить гарантированное теплоснабжение в течение года, поскольку невозможно таким образом аккумулировать теплоту на длительный период. Как будет показано из балансного расчета, в течение года существуют продолжительные периоды избытка и дефицита тепловой энергии.

Схема рассмотрена применительно к реальному энергоизолированному объекту – посёлку и порту Усть-Камчатску, административному центру Кам-



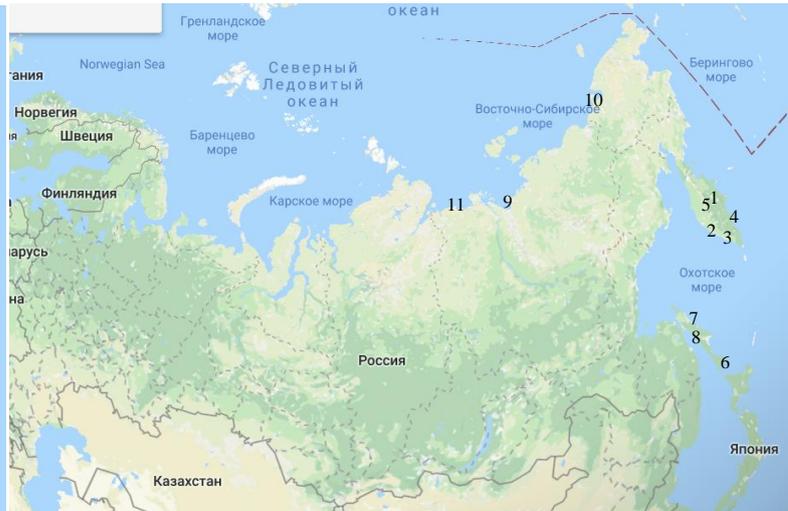
чатского края с населением 4 583 человек (2011 г.), который находится на восточном побережье и имеет

морской влажный климат с постоянными ветрами (рис. 1 и 2).



**Рис. 1** – Географическое расположение энергоизолированного объекта п. Усть-Камчатска

**Fig. 1** – The geographical location of the energy-isolated object p. Ust-Kamchatsk



**Рис. 2** – Географические точки поселков для анализа ветрового потенциала: 1 – Усть-Камчатск; 2 – Соболево; 3 – Усть-Большерецк; 4 – Вилучинск; 5 – Ключи; 6 – Новиково; 7 – Оха; 8 – Тымовское; 9 – Тикси; 10 – Аион; 11 – Усть-Оленек

**Fig. 2** – The geographical points of settlements for the analysis of wind potential: 1 – Ust-Kamchatsk; 2 – Sobolevo; 3 – Ust-Bolsheretsk; 4 – Vilyuchinsk; 5 – Klyuchi; 6 – Novikovo; 7 – Okha; 8 – Tymovskoye; 9 – Tiksi; 10 – Aion; 11 – Ust-Olenek

Средняя температура января составляет  $-20^{\circ}\text{C}$ . Лето прохладное и туманное. Средняя температура самого теплого месяца (августа) не превышает  $+12^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$ . Экономика поселка строится на добыче тихоокеанского лосося, переработка которого осуществляется в летний период. Поселок расположен на восточном побережье полуострова Камчатка, в устье реки Камчатки. Расстояние до краевого центра – Петропавловска-Камчатского – по автодороге составляет 741 км. Электроснабжение поселка производится с помощью 8 дизельных электростанций (ДЭС), общая мощность которых составляет 8 МВт. Теплоснабжение обеспечивается местной котельной, также работающей на привозном топливе [15].

Доставка топлива до п. Усть-Камчатска является сложной и затратной. Топливо для ОА «ЮЭСК» поставляется с российских нефтеперегонных заводов в железнодорожных цистернах до порта Владивосток, затем в период летней морской навигации нефтеналивными танкерами до порта Усть-Камчатска с последующей раскачкой в береговые емкости или до порта Петропавловск-Камчатский с последующей доставкой автомобильными бензовозами до п. Усть-Камчатска.

Анализ потребления электрической и тепловой энергии в годовом разрезе показал, что потребление электрической энергии в течение года ( $E$ ) является достаточно равномерным, с некоторым преобладанием в летний период за счет работы предприятий по переработке рыбы (рис. 3).

Тепловая энергия ( $Q$ ) потребляется крайне неравномерно: средняя нагрузка в летние месяцы почти в

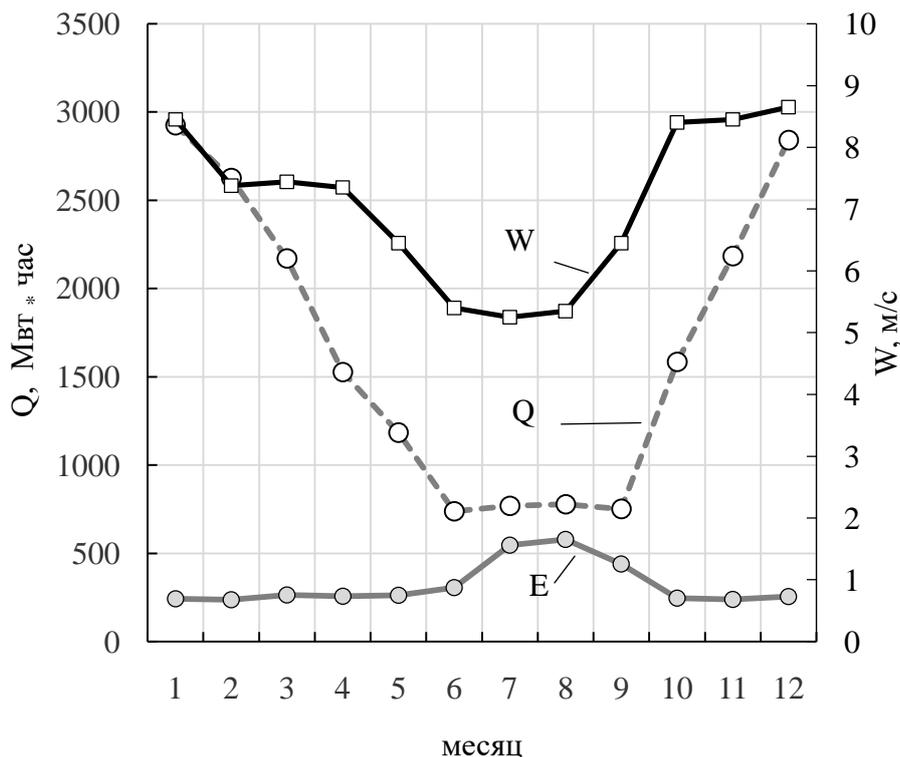
4 раза ниже, чем максимальная нагрузка зимой. Важно, что структура распределения ветрового потенциала ( $W$ ) в течение года совпадает со структурой тепловой нагрузки. Это является благоприятным фактором для реализации схемы энергоснабжения на основе ветрогенераторов с водородным аккумулярованием балластной электрической энергии и обеспечения теплоснабжения на основе использования водородных котлов. В зимние месяцы при гарантированном электроснабжении производительность электролизных установок будет максимальной, и значительная часть водорода, минуя сжатие в компрессоре и систему хранения водорода, может подаваться на нужды теплоснабжения.

Компаниями ПАО «Передвижная энергетика» и «Activity» в 2014–2015 гг. выполнялся проект по модернизации электроснабжения поселка Усть-Камчатска на базе ветро-дизельного комплекса в составе [7–8]:

- ветроэлектростанция (ВЭС) 900 кВт (три ветроэлектроустановки KWT 300 японской компании Komaihaltec inc. установленной мощностью 300 кВт каждая);
- дизель-генераторы.

Ветроэлектроустановки (ВЭУ) Komai KWT 300 специально изготовлены для эксплуатации в условиях холодного климата (высота башни 41,5 м; диаметр ветроколеса 33 м). Минимальная скорость ветра составляет 3 м/с, максимальная скорость ветра – 25 м/с.





**Рис. 3** – Графики потребления электрической (E) и тепловой (Q) энергии в годовом разрезе; среднемесячная скорость ветра (W) на высоте 50 м в годовом разрезе [16]

**Fig. 3** – Graphs of the consumption of electrical (E) and thermal (Q) energy on an annualized basis; average monthly wind speed at an altitude of 50 m per year (W) [16]

В табл. 1 представлена зависимость мощности ВЭУ KWT300 от скорости ветра.

Таблица 1  
Зависимость мощности ВЭУ KWT300 (проектная, не отражает фактических колебаний ветра) от скорости ветра: скорость ветра ВЭУ включения 3 м/с; скорость выключения 25 м/с

Table 1  
The dependence of the power of wind turbines KWT300 (designed, does not reflect the actual wind oscillations) on wind speed: wind speed of wind turbines is 3 m / s; shutdown speed is 25 m / s

W, м/с	2	3	5	6	7	9	10	11
N, кВт	0	10	25	40	70	170	230	300

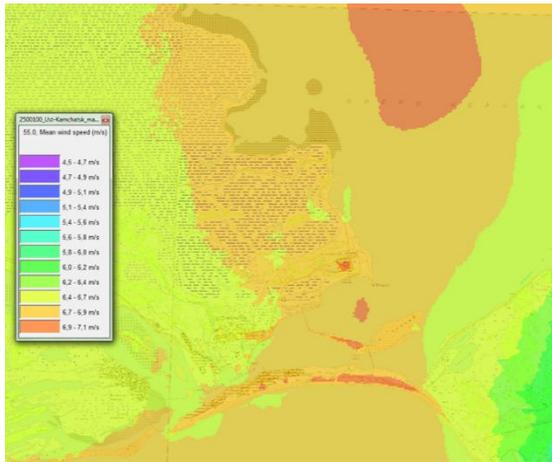
Данная ветроустановка KWT300 адаптирована к работе в условиях Севера (температура до  $-40^{\circ}\text{C}$ ). Для этого ПАО «Передвижная энергетика» совместно с производителем выполнили комплексную доработку оборудования. Проект являлся сложным для исполнения: монтаж ВЭУ происходил в удаленном поселке при полном отсутствии базовой строительной инфраструктуры. Для монтажа ВЭУ использовался 200-тонный подъемный кран, который доставляли из Петропавловск-Камчатского. Всего по плану вместе с дизель-генераторами в энергокомплексе будут действовать 11 ветрогенераторов [8].

Предварительно в поселке был установлен ветроизмерительный комплекс (ВИК), который в течение нескольких лет осуществлял замеры данных по скоростям и направлениям ветра на нескольких высотах.

Эти показания сравниваются с другими источниками данных. В программах WindPro и Wasp построены карты скоростей ветра в данном регионе и определена оптимальная расстановка ветрогенераторов на выбранной площадке (рис. 4 и 5) [14].

Кроме того, в работе [18] для ВЭУ Komai KWT 300 номинальной мощностью 300 кВт исследованы расхождения в проектных и эксплуатационных показателях энергетической эффективности (выработка электроэнергии, коэффициент использования установленной мощности) для условий использования в п. Усть-Камчатский. Коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) ВЭУ Komai KWT 300 за период времени с 04.02.2016. по 31.10.2016. составил 22,9 %; относительное расхождение между проектной и эксплуатационной выработкой – около 4 % [18].





**Рис. 4** – Карта ветроэнергетического потенциала на высоте 55 м над уровнем земли с предварительными вариантами размещения ВЭС [16–18]  
**Fig. 4** – The map of wind energy potential at a height of 55 m on the ground level with preliminary options for locating wind power stations [16–18]



**Рис. 5** – Ветроэнергетический комплекс из 3-х KWT300 в п. Усть-Камчатск [4, 5]  
**Fig. 5** – The wind power complex of 3 KWT300 in Ust-Kamchatsk [4, 5]



International Publishing House for scientific periodicals "Space"

Следует отметить, что КИУМ зависит от периода времени, за который подсчитывается, поэтому в периоды более высокого ветрового потенциала (с октября по апрель) его значения будут выше. Кроме того, КИУМ в данном случае можно разделить на КИУМ для выработки электрической энергии (будет близок к единице) и КИУМ для выработки тепловой энергии, который будет переменной в течение года величиной. Следует понимать, что повышение КИУМ ВЭУ зависит не только от структуры ветропотенциала и графика потребления электрической и тепловой нагрузки потребителя, но и от совершенства конкретной ВЭУ и ее приспособленности к данной альтернативной схеме энергоснабжения. Основным фактором, ограничивающим энергетическую эффективность ветрогенератора, является случайная изменчивость мощности ветрового потока в большом динамическом диапазоне (на три порядка).

### 3.2. Расчет альтернативной схемы энергоснабжения

Альтернативная схема полного энергоснабжения без привозного топлива предусматривает наращивание количества ветрогенераторов до уровня, гаран-

тирующего электроснабжение даже в период слабого ветра. Избыток вырабатываемой электроэнергии идет на балластную нагрузку в виде электролизеров для получения и использования водорода для тепло-снабжения. Схема содержит также систему хранения водорода, оборудование для получения тепловой энергии из водорода (водородные котлы или паровые котельные).

Процессы производства, преобразования, распределения и потребления энергии контролируются с помощью системы управления ветрогенератора и других элементов схемы энергоснабжения.

Исходные данные для расчета необходимого количества ветрогенераторов и электролизеров:

- ветропотенциал для данной географической точки в годовом разрезе [16–18];
- суточные графики электрической и тепловой нагрузки в годовом разрезе [15];
- параметры используемого оборудования: ВЭУ, электролизных установок, систем хранения водорода [7, 8, 12].

Годовой баланс энергии для покрытия электрической и тепловой нагрузки рассчитывают по формуле:

$$\sum_{t=1}^{8760} (n \cdot E_t^W - E_t) \cdot \eta_t^{in} \cdot \eta_t^{ez} * Q_{H2} / K_{ez} = \sum_{t=1}^{8760} (Q_t / \eta_t^{hb}), \quad (1)$$

где  $t = 8\ 760$  часов;

$E_t^W$  – часовая энергия, вырабатываемая одной ВЭУ (зависит от значений скорости ветра для данной географической точки; данные берутся из базы данных NASA и кривой мощности ветрогенератора), кВт · ч;

$E_t$  – электрическая энергия, потребляемая за текущий час (загружается из СГН потребителя), кВт · ч;

$n$  – количество ветрогенераторов;

$\eta_t^{ez}$  – КПД преобразования в электролизную установку в текущий час (зависит от текущего значения ее производительности);

$\eta_t^{in}$  – КПД инвертора;

$Q_t$  – значение тепловой нагрузки для текущего часа, кВт · час;

$Q_{H2}$  – высшая теплота сгорания водорода ( $Q_{H2} = 140$  Мдж/кг,  $Q_{H2} = 38,89$  кВт · час);



Международный издательский дом научной периодики "Спейс"



$K_{ez}$  – удельные энергозатраты производства водорода электролизной установки в номинальном режиме ( $K_{ez} = 50$  кВт. ч/кг  $H_2$ )

$\eta_t^{hb}$  – КПД водородного котла.

Для расчета схемы необходимо иметь следующие данные:

– графики тепловой и электрической нагрузки в суточном, месячном и годовом разрезе с почасовой детализацией;

– скорость ветра для данной географической точки в суточном, месячном и годовом разрезе с почасовой детализацией [16–17];

В расчетах принято, что используются щелочные электролизеры контейнерного типа Nel C-300 с производительностью 300  $nm^3/час$  ( $P = 30$  бар) и компрессором водорода 200 бар [12]. КПД электролизера ( $\eta_t^{ez}$ ) линейно зависит от значения текущей мощности в электролизной установке  $N_t^{ez}$  (табл. 2.)

Таблица 2

Зависимость энергопотребления от нагрузки электролизера Nel C-300

Table 2

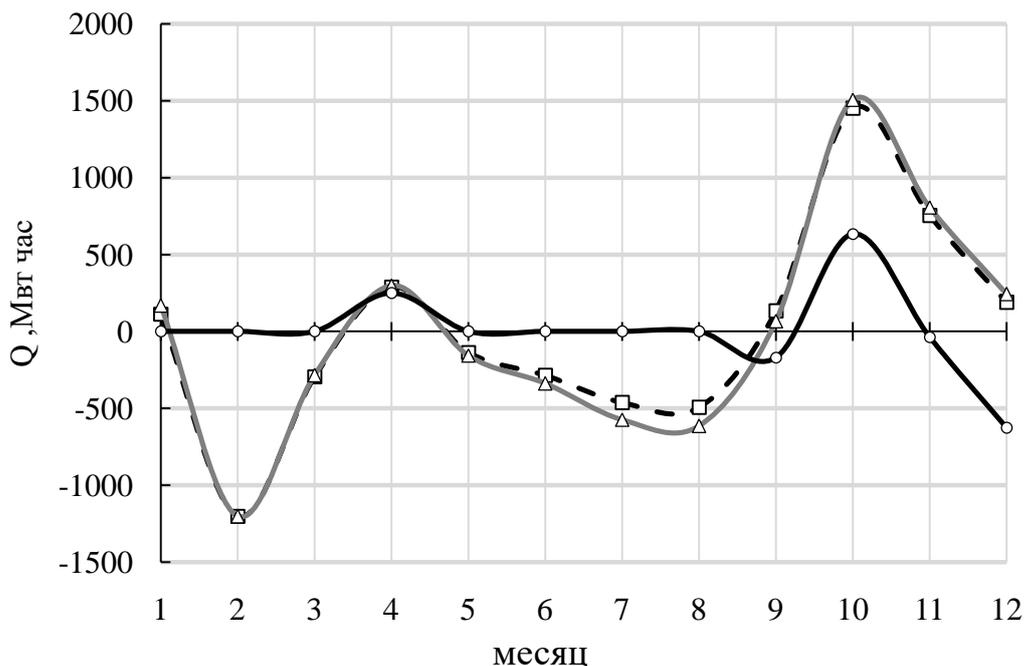
Dependence of the power consumption on the load of the electrolyzer Nel C-300

Доля нагрузки электролизера от номинальной	%	100	75	50	15
Энергопотребление электролизера	кВт·час/ $nm^3 H_2$	4,3	4,15	4,05	3,8

Разработаны алгоритм и программа «Wind in Energy» для расчета схемы автономного энергоснабжения потребителя с водородным накоплением энергии для сглаживания суточной и сезонной неравномерности по приходу ветровой энергии для различных географических точек [3].

#### 4. Результаты и их обсуждение

В результате расчетов получен график годового баланса энергии, запасаемой в водороде и извлекаемой из водорода для электроснабжения и трех схем теплоснабжения автономного объекта п. Усть-Камчатский (рис. 6).



**Рис. 6** – Изменение месячного баланса в течение года для гарантированного теплоснабжения автономного объекта поселка Усть-Камчатка для схем энергоснабжения: — (схема 1) – 55 ветроэлектрогенераторов KWT300 + 1 электролизер NEL-300 + водородные котлы; - - - (схема 2) – 41 ветроэлектрогенератор KWT300 + баки-накопители с водой; — (схема 3) – 42 ветроэлектрогенератора KWT300 + баки-накопители + 1 электролизер NEL 150 + водородные котлы + бак-накопитель с водой  
**Fig. 6** – Annual change in monthly balance for guaranteed heat supply of an autonomous facility of Ust-Kamchatsk village for power supply schemes: — (scheme 1) – 55 KWT300 wind power generator + 1 NEL 300 electrolyzer + hydrogen boilers; - - - (scheme 2) – 41 KWT300 + wind power generators with water storage tanks; — (scheme 3) – 42 KWT300 wind turbines + storage tanks + 1 NEL 150 electrolyzer + hydrogen boilers + storage tank with water

Расчет энергии по формуле (1) с помощью программы «Wind in energy» показал, что для реализа-

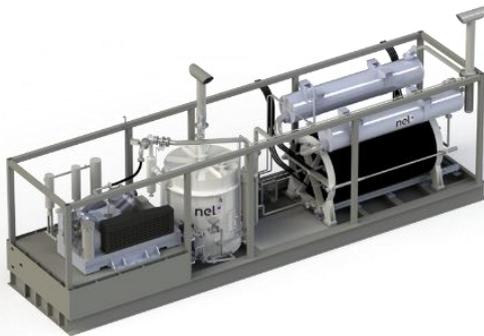
ции схемы 1 для гарантированного энергоснабжения необходим парк из 55 ветрогенераторов KWT300,

1 электролизера NEL-300 и локальных водородных котлов. Анализ баланса энергии (рис. 6, кривая 1, схема 1) показывает, что с сентября по январь и с марта по апрель водород накапливается в системе хранения, а с января по апрель и с мая по сентябрь потребляется на нужды теплоснабжения. Для этого водород подается локальным потребителям для питания водородных котлов или по локальной сети, соединяющей отдельных потребителей, или от заправленных рамп.

На рис. 7 представлено контейнерное исполнение генератора водорода компании Nel «под ключ» на базе щелочного электролизера Nel C-300 с произво-

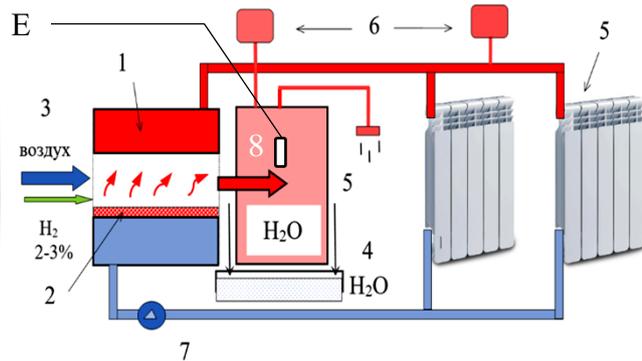
дительностью 300  $\text{nm}^3/\text{час}$  и выходным давлением водорода 30/200 бар. Диапазон регулирования нагрузки составляет 15÷100 %, а удельные энергозатраты – 3,8÷4,4 кВт час/ $\text{nm}^3$  в зависимости от нагрузки. При номинальном режиме генерации водорода потребляемая мощность составляет 1 320 кВт, а потребление воды – 135 л/час [12].

В зависимости от сезона электролизный водород можно накапливать в системе хранения или напрямую использовать как топливо в конденсационном водородном котле для эффективного теплоснабжения индивидуальных потребителей (рис. 8).



**Рис. 7** – Щелочной электролизер Nel C-300 контейнерного типа (300  $\text{nm}^3/\text{час}$ ,  $\text{PH}_2 = 30/200$  бар) [12]

**Fig. 7** – Alkaline electrolyzer Nel C-300 of container type (300  $\text{nm}^3/\text{hour}$ ,  $\text{PH}_2 = 200$  bar) [12]



**Рис. 8** – Схема отопления и горячего водоснабжения потребителя на основе водородного конденсационного котла: 1 – водородный котел; 2 – каталитическая горелка; 3 – подача воздуха и водорода; 4 – конденсат; 5 – радиатор; 6 – расширительный бак;

7 – циркуляционный насос; 8 – термоэлектрический нагреватель (ТЭН)

**Fig. 8** – The scheme of heating and hot water supply of the consumer based on a hydrogen condensing boiler: 1 – hydrogen boiler; 2 – catalytic burner; 3 – air and hydrogen supply; 4 – condensate; 5 – radiator; 6 – expansion tank; 7 – circulation pump; 8 – thermoelectric heater

При сжигании водорода в каталитической горелке в бедных смесях (при содержании водорода всего 2÷3 %) температура пламени достигает около 300 °С, то есть является оптимальной для работы теплофикационного теплообменника [3]. При такой температуре пламени также наблюдается минимальное образование окислов азота.

Таким образом, практически единственным продуктом горения водородного котла является конденсированная чистая вода, которая может быть использована для питания электролизеров. Важно, что теплота конденсации около 20 МДж/кг остается в помещении, что делает значение КПД такого конденсационного котла близким к 100%.

Другая принципиальная возможность теплоснабжения – это использование электролизных газов водорода и кислорода в парогенераторе для получения пара высоких параметров для теплоснабжения или в паротурбинной электростанции (например, как резервной) [19–22].

Следует рассмотреть еще более экономичный способ по сравнению с электролизом, а именно, перевод избытка электроэнергии от ВЭУ в теплоту за счет термоэлектрического нагрева (ТЭН) воды в баке-накопителе (см. рис. 6, кривая 2, схема 2). В этом случае необходим парк из 41 ветрогенератора

KWT300. Однако гарантированное теплоснабжение в течение года таким способом обеспечить нельзя. Как видно на рис. 6, в течение года существуют продолжительные периоды, когда имеется избыток тепловой энергии, который в баке-накопителе невозможно аккумулировать (например, с сентября по ноябрь), и периоды, когда имеется дефицит тепловой энергии (например, с января по сентябрь).

В связи с этим целесообразно реализовать смешанную схему теплоснабжения, при которой в период избытка электрической энергии производится водород. Газ накапливается, а в период дефицита тепловой энергии по мере необходимости направляется в водородные конденсационные котлы для производства тепловой энергии (см. рис. 6, кривая 3, схема 3). При этом основное производство тепловой энергии осуществляется за счет нагрева воды в баках-накопителях. В такой смешанной схеме (схема 3) используется 42 ветрогенератора и 1 электролизер NEL-150, то есть нужен электролизер производительностью в 2 раза меньшей, чем по схеме 1.

В результате расчета был произведен подбор оборудования для схемы полного энергоснабжения энергоизолированного объекта. Результаты сравнения существующей и альтернативной схемы 3 приведены в табл. 3.



Таблица 3

Сравнение схем энергоснабжения п. Усть-Камчатска

Table 3

Comparison of the power supply schemes in Ust-Kamchatsk

Необходимое количество энергии	Существующая схема *	Альтернативная схема 3 (ВГ+ H <sub>2</sub> накопление )
Тепловая энергия 20 072 МВт·ч /год	Муниципальная котельная 4,5 МВт 5 126 т/год дизельного топлива Стоимость топлива 40 000 руб./т Годовые затраты: 256 млн руб.	1. КWT 300 – 42 шт. 2. Nel C-150 – 1 шт. (13,4 кг H <sub>2</sub> /час) 3. Система хранения водорода (газгольдеры 300 бар или баллоны высокого давления 200 бар)
Электрическая энергия 3 874 МВт·ч/год	Дизель-генераторы 800 кВт (10 шт.) 1 582 т/год дизельного топлива Стоимость топлива 50 тыс. руб. /т Годовые затраты: 79 млн руб.	4. Водородные локальные конденсационные котлы 5. Баки-накопители
Ежегодные текущие затраты на топливо	335 млн руб./год	Текущих затрат на топливо нет

\*Данные относятся к 2019 г. и приводятся для ориентировочной оценки

Таким образом, энергокомплекс на основе ветрогенератора и дополнительных устройств (электролизеров, баков-накопителей, водородных котлов, систем хранения водорода, водородно-кислородных парогенераторов) дает принципиальную возможность реализации альтернативной схемы энергоснабжения без использования привозного топлива с

высокой энергоэффективностью и практически полным отсутствием токсичных продуктов горения.

В связи с этим необходимо выяснить, когда ветрогенераторы полностью или частично не работают из-за слабого потока ветра. Такой анализ для п. Усть-Камчатска сделан в табл. 4 [16].

Таблица 4

Среднемесячный процент времени, когда скорость ветра на высоте 50 м находится в пределах указанного диапазона скорости ветра (%) в п. Усть-Камчатске

Table 4

The average monthly percentage of time when the wind speed at a height of 50 m is within the specified range of wind speed (%) in Ust-Kamchatsk

Скорость ветра, м/с	Месяц												Средне-годовая
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
0÷3	3	4	6	4	6	9	9	9	8	4	3	3	6
3÷6	26	35	38	33	38	49	52	47	43	30	22	23	36
7÷10	40	37	34	41	41	35	35	35	36	36	39	37	37
11÷14	22	18	16	17	14	6	4	9	10	22	26	27	16
15÷18	7	6	6	4	2	0	0	0	2	7	7	8	4
19÷25	2	1	2	1	0	0	0	0	0	1	2	1	1

Как видно, доля периодов слабого ветра (0÷3 м/с) достигает 9 % в летние дни и 1÷3 % в зимние. Если эксплуатируется парк ветрогенераторов, установленных в разных точках местности с повышенным ветропотенциалом, то вероятность дефицита мощности снижается. В летний период электропотребление обычно сокращается, однако для данного района с максимумом электропотребления в летние месяцы (см. рис. 3) это может стать проблемой, так как парка ветрогенераторов для электроснабжения может не хватить, что приведет к отключению ряда потребителей. Расчетное количество ветрогенераторов (42 шт.) в период слабого ветра может обеспечить суммарную мощность 350 кВт, которой недостаточно для летнего периода. Поэтому необходимо, как и в любой схеме гарантированного энергоснабжения, пре-

дусмотреть резервное электроснабжение ответственных потребителей, например за счет резервной дизельной электростанции. Для такой резервной электростанции требуется запас дизельного топлива. Однако следует учитывать, что эти затраты являются разовыми, а не ежегодными. Кроме того, в рассмотренном в качестве объекта энергоснабжения п. Усть-Камчатске уже действует дизельная электростанция из 8 дизель-генераторов разного года выпуска. При новой альтернативной схеме энергоснабжения все или часть генерирующего оборудования может быть использована для резервного энергоснабжения. В таком применении оборудование не вырабатывает свой ресурс, и срок его эксплуатации может быть продлен.

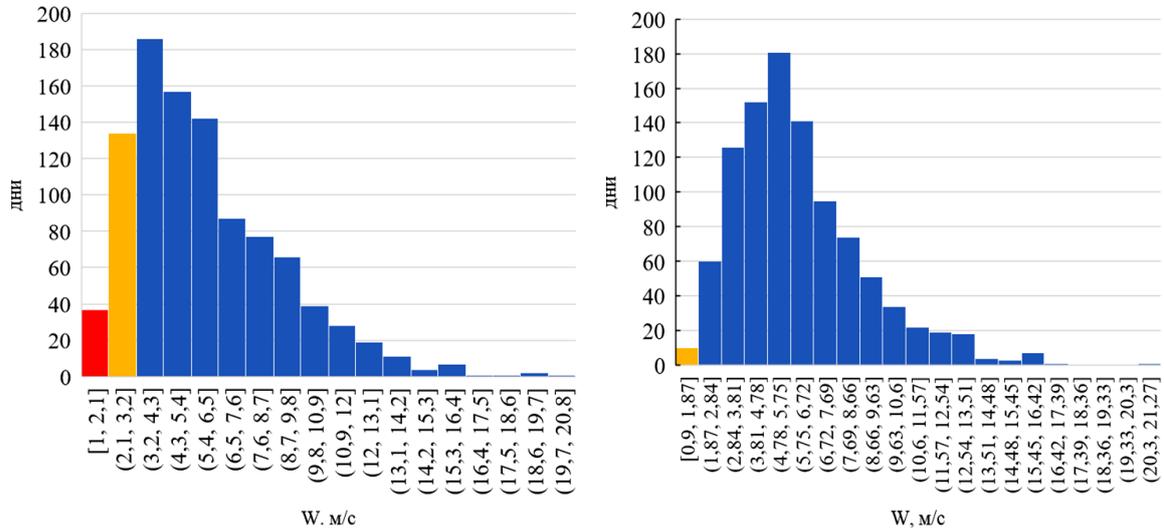
Помимо этого, существует вариант с энергоустановками на топливных элементах, газопоршневыми



установками на водороде, паротурбинными электростанциями и котельными на основе водород-кислородного парогенератора [19–21].

Вместе с тем для реализации гарантированного энергоснабжения по предложенной схеме важно, чтобы потребитель находился в зоне, где минимальны

периоды слабого ветра. Как видно на рис. 9а, п. Усть-Камчатск не вполне соответствует данным условиям. Распределение ветрового потенциала по диапазонам скоростей ветра (ресурс NASA), показывает, что, например, структура ветропотенциала в п. Оха является более благоприятной (рис. 9б).



**Рис. 9** – Распределение ветрового потенциала по диапазонам скоростей ветра (средние за пятилетний период на высоте 50 м) [16]: а – п. Усть-Камчатск; б – п. Оха  
**Fig. 9** – Distribution of wind potential over wind speed ranges (average over a five-year period at an altitude of 50 m) [16]: а – Ust-Kamchatsk; б – Okha

Для ряда других энергоизолированных потребителей (см. рис. 1б) на севере и востоке России такие данные приведены в табл. 5 (на основе климатических ресурсов компании NASA).

Характерные диапазоны скорости ветра (в днях), зафиксированные за 5-летний период наблюдений на высоте 50 м [16]

Таблица 5

Typical ranges of wind speed (in days) recorded over a 5-year observation period at a height of 50 m [16]

Table 5

Местонахождение	Население	Среднегодовая скорость ветра	Количество дней с минимальной скоростью ветра		Диапазон скорости ветра с максимальным количеством дней	
			м/с	Дни	м/с	дни
Поселок Камчатка:	Человек					
Усть-Камчатск	4 500	6,0	1÷2,1	37	3,2÷4,3	186
Соболево	1 700	6,8	1,1÷2,1	28	4,4÷5,5	148
Усть-Большерецк	1 800	6,08	1,1÷2,2	35	4,1÷5,1	161
Вилючинск	22 000	5,77	1÷2	33	4÷5	158
Ключи	4 600	4,18	0,6÷1,39	19	2,8÷2,97	197
Сахалин:						
Новиково	520	7,07	1,2÷2,3	14	4,5÷5,6	170
Оха	20 400	6,12	0,9÷1,87	10	4,78÷5,85	180
Тымовское	7 500	5,43	1÷1,83	20	3,49÷4,32	181
Север:						
Тикси	4 500	6,52	1÷1,99	11	5,95÷6,94	153
Айон	200	4,51	0,8÷1,56	27	3,84÷4,6	172
Усть-Оленек	27	6,09	0,63÷2,15	25	5,95÷6,91	147

Видно, что перспективными объектами для реализации альтернативной схемы являются поселки Оха, Новиково, Тикси, где периоды слабого ветра составляют от 10 до 14 дней в году, а ветропотенци-

ал имеет высокие значения. КИУМ ВИЭ зависит от структуры ветропотенциала, но можно предположить, что он будет определяться среднегодовой скоростью ветра (см. табл. 5).



## Заключение

Альтернативная схема автономного энергоснабжения энергоизолированного потребителя без использования привозного или местного топлива содержит ветроэнергетический комплекс из парка ветрогенераторов, размещенных в точках с локально высоким потенциалом ветра, которые обеспечивают гарантированное электроснабжение даже в периоды слабого ветра. Часть избытка электроэнергии от ветрогенераторов идет на нагрев воды в баках-накопителях, а часть на производство водорода, который затем направляется на теплоснабжение в период дефицита тепловой энергии. Разработанный алгоритм расчета и программа «Wind in energy» позволяют рассчитать годовой баланс энергии и необходимое количество оборудования для реализации схемы исходя из годового графика тепловой и электрической нагрузки, а также потенциала ветровой энергии в выбранном регионе.

Расчетное обоснование предложенной схемы проводилось применительно к реальному энергоизолированному объекту – п. Усть-Камчатску (Камчатка). Оборудование для данной схемы включает в себя: ветроэнергетический комплекс, электролизное оборудование и водородные котлы и термобаки. Инвестиции в оборудование будут возвращаться за счет полного отказа от привозного топлива. Для реализации альтернативной схемы необходимо правильно выбрать энергоизолированный объект, в частности:

- ветропотенциал должен быть высоким, и его внутригодовое распределение должно максимально совпадать с графиком нагрузки потребителя;

- годовой график потребления электрической нагрузки не должен иметь максимумов в период минимального ветропотенциала;

- потребитель должен находиться в зоне, где минимальны периоды слабого ветра, а сам график распределения ветра имеет продолжительные периоды в диапазоне 4÷8 м/с.

Кроме того, для данной схемы энергоснабжения целесообразно использовать конструкции ВЭУ, которые эффективно работают при малых скоростях ветра и имеют достаточную скорость выхода на номинальную мощность.

При реализации данной схемы энергоснабжения было предусмотрено резервное электроснабжение потребителей, например, за счет дизельной электростанции, для которой требуется запас дизельного топлива. Однако следует учитывать, что эти затраты являются разовыми, а не ежегодными. Кроме того, в качестве резервных можно использовать мощности, которые выработали свой ресурс как постоянно действующие дизельные электростанции, что позволит продлить срок их эксплуатации.

В перспективе для резервного энергоснабжения ответственных потребителей в период слабого ветра можно использовать другие устройства, потребляющие водород (топливные элементы, газопорш-

невые установки, паротурбинные электростанции и котельные на основе водород-кислородного парогенератора).

## Список литературы

[1] Голубчиков, С. Энергетика Севера: проблемы и пути их решения / С. Голубчиков // Энергия. – 2002. – № 11. – С. 35–39.

[2] Официальный сайт компании «Vestas» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.vestas.com/>. – (Дата обращения: 25.06.2019.).

[3] Возобновляемые источники энергии: Курс лекций. Под редакцией А.А. Соловьева, С.В. Киселевой. – М.: Издательство Университетская книга, 2018. – 296 с.; ISBN 978-5-91304-389-4

[4] Фортов, В.Е. Возобновляемые источники энергии для энергоснабжения потребителей в России / В.Е. Фортов, О.С. Попель // Энергетический вестник. – 2010. – № 1 (8). – С. 9–29.

[5] Виссарионов, В.И. Теоретические основы энергетики возобновляемых источников / В.И. Виссарионов, В.И. Дерюгин, С.В. Крувенкова. – М.: Издательский дом МЭИ. – 2008. – 276 с.

[6] Нефедкин, С.И. Автономные энергетические установки и системы: учебное пособие / С.И. Нефедкин. – М.: Издательство МЭИ, 2018. – 220 с. ISBN 978-5-7046-1847-8

[7] Обоснования инвестиций в строительство шести ветродизельных комплексов мощностью 11 000 кВт в Камчатском Крае Дальневосточного Федерального Округа РФ, отчет компании Activity, Москва 2014. – Режим доступа: <http://activity-llc.com/projects>. – (Дата обращения: 25.05.2019.).

[8] Холдинг АО «РАО Энергетические системы Востока» (АО «РАО ЭС Востока»). – Режим доступа: <http://www.rao-esv.ru>. – (Дата обращения: 25.05.2017.).

[9] Попель, О.С. Современные виды электрохимических накопителей и их применение в автономной и централизованной энергетике / О.С. Попель, А.Б. Тарасенко // Теплоэнергетика. Энергоэксперт. – 2011. – № 3. – С. 26–35.

[10] Коровин, Н.В. Топливные элементы и электрохимические энергоустановки / Н.В. Коровин. – М.: Издательство МЭИ, 2005. – 208 с. ил.

[11] Кулешов, Н.В. Электрохимические технологии в водородной энергетике / Н.В. Кулешов, С.А. Григорьев, В.Н. Фатеев. – М.: Издательский дом МЭИ. – 2007. – 115 с.

[12] Официальный сайт компании Nel [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.nel-hydrogen.com](http://www.nel-hydrogen.com). – (Дата обращения: 25.06.2019.).

[13] Dicks, A.L. Fuel Cell Systems Explained / A.L. Dicks, D.A.J. Rand: 3<sup>rd</sup> Edition. – Australia© 2018 John Wiley & Sons Ltd Edition.

[14] Дерюгина, Г.В. Основные характеристики ветра. Ресурсы ветра и методы их расчета: учебное



пособие / Г.В. Дерюгина [и др.]. – М.: Издательство МЭИ, 2012. – 52 с.

[15] Схема теплоснабжения МО Корсаковский городской округ: Т. 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sakli-korsakov.ru/files/74719>. – (Дата обращения: 25.05.2017).

[16] Официальный сайт NASA. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://power.larc.nasa.gov>. – (Дата обращения: 25.06.2019).

[17] Официальный сайт компании Meteororm. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://meteororm.com>. – (Дата обращения: 25.04.2018).

[18] Дерюгина, Г.В. Анализ расхождения проектной и эксплуатационной выработки ВЭС в составе ветродизельного комплекса / Г.В. Дерюгина, Н.Д. Карпов, Д.А. Чернов // Сборник статей по материалам научно-практической конференции с международным участием. «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность. Издательство: ФГАОУВО «Севастопольский государственный университет». – 2017. – С. 366–368.

[19] Малышенко, С.П. Эффективность генерации пара в водородкислородных парогенераторах мегаваттного класса мощности / С.П. Малышенко [и др.] // Теплофизика высоких температур. – 2012. – Т. 50. – № 6. – С. 820–829

[20] Трухний А.Д. Основы современной энергетики / А.Д. Трухний [и др.] // Современная теплоэнергетика: Т. 1. – М.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 472 с.; ISBN 978-5-383-00502-6

[21] Официальный сайт компании «Модульные котельные системы» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://modks.com>. – (Дата обращения: 25.05.2019).

[22] Котельное оборудование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://esko-industry.ru>. – (Дата обращения: 25.05.2019).

## References

[1] Golubchikov S. Energetics of the North: Problems and Solutions (Energetika Severa: problemy i puti ikh resheniya). *Energy*, 2002;11:35–39 (in Russ.).

[2] Official site of the company “Vestas” [E-resource]. Available on: <https://www.vestas.com/> (06/25/2019).

[3] Renewable energy sources: Course of lectures (Vozobnovlyаемые источники энергии: Kurs lektsii). Edited by A. Solovyov and S.V. Kiseleva. – Moscow: University Book Publishing House Moscow, 2018, 296 p. ISBN 978-5-91304-389-4 (in Russ.).

[4] Fortov V.E., Popel O.S. Renewable energy sources for energy supply to consumers in Russia (Vozobnovlyаемые источники энергии для энергоснабжения потребителей в России). *Energy Bulletin*, 2010;1(8):9–29 (in Russ.).

[5] Vissarionov V.I., Deryugin V.I., Kruvenkova S.V. Theoretical foundations of renewable energy (Teo-

reticheskie osnovy energetiki vozobnovlyаемых istochnikov). Moscow: Publishing House MEI, 2008, 276 p (in Russ.).

[6] Nefedkin S.I. Autonomous Power Plants and Systems (Avtonomnye energeticheskie ustanovki i sistemy:uchebnoe posobie). Moscow: Publishing House MEI, 2018, 220 p. ISBN 978-5-7046-1847-8 (in Russ.).

[7] Substantiation of investments in the construction of six wind-diesel complexes with a capacity of 11,000 kW in the Kamchatka Territory of the Far Eastern Federal District of the Russian Federation, report by Activity (Obosnovanie investitsii v stroitel'stvo shesti vetrodizel'nykh kompleksov moshchnost'yu 11 000 kW v Kamchatskom Krae Dal'nevostochnogo Federal'nogo Okruga RF, otchet kompanii Activity). Moscow 2014. Available on: <http://activity-llc.com/projects> (05/25/2019) (in Russ.).

[8] Holding JSC “RAO Energy Systems of the East” (JSC “RAO ES of the East”) (Kholding AO “RAO Energeticheskie sistemy Vostoka”) (AO “RAO ES Vostoka”). Available on: <http://www.rao-esv.ru> (05/25/2017) (in Russ.).

[9] Popel O.S., Tarasenko A.B. Modern types of electrochemical accumulators and their use in autonomous and centralized power engineering (Sovremennye vidy elektrokhimicheskikh nakopitelei i ikh primeneniye v avtonomnoi i tsentralizovannoi energetike). *Thermal Engineering. Energy expert*, 2011;3:26–35. (in Russ.).

[10] Korovin N.V. Fuel Cells and Electrochemical Power Plants (Toplivnye elementy i elektrokhimicheskie energoustanki). Moscow: MEI Publishing House, 2005, 208 p. (in Russ.).

[11] Kuleshov N.V., Grigoriev S.A., Fateev V.N. Electrochemical technologies in hydrogen energy (Elektrokhimicheskie tekhnologii v vodorodnoi energetike). Moscow: Publishing House MEI, 2007, 115 p. (in Russ.).

[12] The official website of the company Nel. Electronic resource. Available on: [www.nel-hydrogen.com](http://www.nel-hydrogen.com) (06/25/2019).

[13] Dicks A.L., Rand D.A.J. Fuel Cell Systems Explained. Griffith University of Brisbane, Australia. © J. J. Wiley & Sons Ltd Edition.

[14] Deryugina G.V., Malinin N.K., Pugachev R.V., Shestopalova T.A. The main characteristics of the wind. Wind resources and methods for calculating them: study guide (Osnovnye kharakteristiki vetra. Resursy vetra i metody ikh rascheta: uchebnoe posobie). Moscow: Publishing House MEI, 2012, 52 p. (in Russ.).

[15] Scheme of heat supply MO Korsakovsky urban district: Vol. 1. (Skhema teplosnabzheniya MO Korsakovskii gorodskoi okrug) [E-resource]. Available on: <http://sakli-korsakov.ru/files/74719> (05/25/2017) (in Russ.).

[16] The official website of NASA [E-resource]. Available on: <https://power.larc.nasa.gov> (06/25/019).

[17] The official website of the company Meteororm. [E-resource]. Available on: <http://meteororm.com>. (04/25/2018).

[18] Deryugina G.V., Karpov N.D., Chernov D.A. Analysis of the discrepancy between the design and operational generation of wind power stations in the wind-



diesel complex / A collection of articles on the materials of the scientific-practical conference with international participation. "Ecological, industrial and energy security". Publisher: FGAOUVO "Sevastopol State University" (Analiz raskhozhdeniya proektnoi i ekspluatatsionnoi vyrabotki VES v sostave vetrodizel'nogo kompleksa/-Sbornik statei po materialam nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. "Ekologicheskaya, promyshlennaya i energeticheskaya bezopasnost'". Izdatel'stvo: FGAOUVO "Sevastopol'skii gosudarstvennyi universitet"). 2017, pp. 366–368 (in Russ.).

[19] Malysenko S.P., Prigogine V.I., Savich A.R., Schastlivtsev A.I., Ilyichev A.I., Nazarova O.V. Efficiency of steam generation in hydrogen oxygen steam generators of mega-watt power class (Effektivnost' gene-

ratsii para v vodorod kislorodnykh parogeneratorakh megavattного класса moshchnosti.). *High Temperature Thermophysics (Teplofizika vysokikh temperatur)*, 2012;50(6):820–829 (in Russ.).

[20] Trukhny A.D. et al. Fundamentals of modern energy. Modern heat and power engineering: Vol. 1 (Osnovy sovremennoi energetiki: Tom 1. Sovremennaya teploenergetika). Moscow: Publishing House MEI, 2011, 472 p.; ISBN 978-5-383-00502-6 (in Russ.).

[21] Official site of the company Modular boiler systems (Modul'nye kotel'nye sistemy) [E-resource]. Available on: <http://modks.com>. (05/25/2019) (in Russ.).

[22] Boiler equipment (Kotel'noe oborudovanie) [E-resource]. Available on: <http://esko-industry.ru> (05/25/2019) (in Russ.).

Транслитерация по BSI



# BIOPESTICIDES NORTH AMERICA

9th & 10th October, 2019 - ORLANDO, US



Following our success with the previous edition, ACI is organising the 2<sup>nd</sup> Biopesticides North America 2019 Conference, taking place in Orlando US, on 9–10 October 2019.

Biopesticides market is poised to witness significant gains with the escalating demand for healthy crop generation. The industry has been evolving at a rapid pace, which is quite evident from the growing consumer preferences for organic food and demand for eco-friendly crop protection pesticides.

A growing awareness of biopesticides' favourable features, including safety and efficiency, as well as stringent legislative requirements, are driving the biopesticides market.

Join us in Orlando for a highly interactive & informative conference, to discover the key subjects and updates from the latest developments in essential areas of the Biopesticides.

## Key Topics for discussion:

- Commercialization of Biopesticides
- Designing Principles for a Better Regulatory Systems
- Novel Biopesticides Formulation Technologies
- Gaining Insights on Microbials: Challenges & Opportunities
- Focusing on Bacterial Biopesticides Market
- Advancing Farming Practices for Sustainable Industry
- Economic Value of Biologically Based IPM

## Contact

Name:  
Rohan Baryah – Marketing, Sales & Media Partnerships  
Phone: + 48 (0)61 646 7022  
Email: rbaryah@acieu.net

Name:  
Jayme Burns – Logistics  
Phone: +44 (0) 203 141 0640  
Email: jayme@acieu.net

Name:  
Tim Rowley-Evans – Sponsorship  
Phone: +44 (0) 203 141 0614  
Email: trowleyevans@acieu.net

Name:  
Tim Rowley-Evans – Delegate Sales  
Phone: +44 20 3141 0614  
Email: trowleyevans@acieu.net

Name:  
Lauriane Pardoux – Content  
Phone: +44 (0)20 3141 0632  
Email: lpardoux@acieu.net

Name:  
Mikhail Kryukov – Content  
Phone: +44 (0) 20 3141 0649  
Email:  
mkryukov@acieu.net

[www.wplgroup.com/aci/event/biopesticides-north-america/](http://www.wplgroup.com/aci/event/biopesticides-north-america/)

