Статья поступила в редакцию 02.04.15. Ред. рег. № 2217

The article has entered in publishing office 02.04.15. Ed. reg. No. 2217

International Publishing House for scientific periodicals "Space"

Международный издательский дом научной периодики "Спейс"

УДК 621.311.26

ВЫБОР СОСТАВА ОБОРУДОВАНИЯ МОДУЛЬНОЙ ВДЭС С ВЫСОКОЙ ДОЛЕЙ ЗАМЕЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

В.В. Елистратов, М.А. Конищев, Р.С. Денисов

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет Петра Великого
НОЦ «Возобновляемые виды энергии и установки на их основе»
РФ 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29
тел./факс: (812) 552-80-68, e-mail: elistratov@cef.spbstu.ru

doi: 10.15518/isjaee.2015.07.002

Заключение совета рецензентов: 09.04.15 Заключение совета экспертов: 16.04.15 Принято к публикации: 23.04.15

Для автономных северных регионов наиболее эффективным механизмом экономии топлива является использование возобновляемых источников энергии в комплексных системах энергоснабжения для обеспечения средней и высокой доли замещения. Учитывая высокий ветровой потенциал северных территорий, наиболее целесообразно строительство ветродизельных электростанций (ВДЭС). Для выбора оптимального состава оборудования применяется многоуровневая последовательность с использованием метода анализа иерархий на последнем уровне. Согласно этой последовательности, рассчитываются параметры всех возможных вариантов состава оборудования ВДЭС. Вводятся граничные условия, и из общего числа выделяется несколько вариантов со значениями, которые удовлетворяют этим условиям. Из этого множества, адаптируя метод анализа иерархий (МАИ) к области ветроэнергетики, выбирается оптимальный вариант. Этим вариантом считается тот, что имеет максимальное значение приоритета. Для примера был проанализирован проект ВДЭС в пос. Амдерма. Было рассмотрено более ста вариантов, из которых отобрано шесть. Для окончательного выбора использован МАИ.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, ветровая энергия, дизельная генерация, суровые климатические условия, ВДЭС, состав оборудования, параметры и режимы, оптимизация.

THE CHOICE OF THE EQUIPMENT CONFIGURATION OF MODULAR WDPP WITH A HIGH PENETRATION LEVEL BASED ON THE HIERARCHIES ANALYSIS METHOD

V.V. Elistratov, M.A. Konishchev, R.S. Denisov

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
Science-education center "Renewable Energy Sources"
29 Politehnicheskaya Str., Saint Petersburg, 195251 Russian Federation
ph./fax: (812) 552-80-68, e-mail: elistratov@cef.spbstu.ru

Referred 09 April 2015 Received in revised form 16 April 2015 Accepted 23 April 2015

The most effective mechanism of fuel economy for autonomous northern regions is the usage of renewable energy in complex systems with medium and high penetration level. Moreover, the construction of wind-diesel power plant (WDPP) is the most expedient for the northern territories with the high wind potential. To choice equipment configuration, the methodology in the form of multi-level sequence, applying the analysis hierarchy process (AHP) on the last level, is used. According to the sequence, the parameters of all possible variants of WDPP equipment configuration are calculated. Introducing the boundary conditions, several options with values that satisfy conditions are allocated from the total number of variations. From this set, adapting AHP to wind energy, the best option is selected. This embodiment is the one that has the highest priority value. For example, the draft WDPP in the village Amderma is reviewed. Over a hundred options have been considered then six of them were selected, satisfying the boundary conditions. For the final choice AHP is used.

Keywords: renewable energy, wind energy, diesel generation, harsh climatic conditions, WDPP, equipment configuration, performances and modes, optimization.

International Publishing House for scientific periodicals "Space"
Международный издательский дом научной периодики "Спейс"

Елистратов Виктор Васильевич
Victor V. Elistratov

Сведения об авторе: д-р техн. наук, профессор, директор научно-образовательного Центра «Возобновляемые виды энергии и установки на их основе» СПбПУ, Председатель научного совета по проблемам возобновляемых источников энергии СПб Центра РАН, Заслуженный энергетик РФ.

Образование: ЛПИ им. М.И. Калинина, 1977, инженер-гидроэнергетик; д-р техн. наук, 1996.

Область научных интересов: возобновляемые источники энергии, разработка систем энергоснабжения на основе ВИЭ.

Публикации: более 170.
Индекс Хирша: 10.

Information about the author: DSc., Prof., Director of Science-education center "Renewable Energy Sources" of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University; the Chairman of the Scientific Council on Renewable Energy Center of St. Petersburg Academy of Sciences; Honored Power Engineer of RF.

Education: hydropower engineer, LPI, 1977; DSc., 1996.

Research interests: renewable energy, system engineering based on RES, wind power.

Publications: more 170.
H-index: 10.

Конищев Михаил Анатольевич
Michail A. Konishchev

Сведения об авторе: канд. техн. наук, заведующий отделением НОЦ «ВИЭ» СПбПУ.

Образование: инженерно-строительный факультет, кафедра «Возобновляемые источники энергии и гидроэнергетика» СПбГПУ, 2006 г.; канд. техн. наук, 2010 г.

Область научных интересов: энергокомплексы на основе ВИЭ, технологии проведения ресурсного анализа, интеллектуальное преобразование ВИЭ и управление.

Публикации: 14.
ИндексХирша: 1.

Information about the author: PhD (engineering), Head of the Department of Science-education center "Renewable Energy Sources".

Education: hydropower engineer, SPbSPU, 2006; PhD, 2010.

Research interests: hybrid system based on RES, intelligent automation, wind power.

Publications: 14.
H-index: 1.

Денисов Роман Сергеевич
Roman S. Denisov

Сведения об авторе: инженер НОЦ «ВИЭ» СПбПУ.

Образование: инженер по специальности «Электрические станции», КГТУ, г. Калининград, 2012 г.

Область научных интересов: ветроэнергетика, ветродизельные электростанции, электрическая часть энергоустановок, оптимизация параметров ВДЭС.

Публикации: 7.

Индекс Хирша: 1

Information about the author: engineer of Science-education center «Renewable Energy Sources».

Education: power engineer, KSTU, Kaliningrad, 2012.

Research interests: wind power, wind-diesel power plants, power facilities, power plants based of RES.

Publications: 7.

H-index: 1.

International Publishing House for scientific periodicals "Space"

Международный издательский дом научной периодики "Спейс"

Актуальность работы

Около 65% территории России находится в зоне автономного и децентрализованного энергоснабжения [1]. Электрификация этих районов осуществляется преимущественно дизельными электростанциями (ДЭС), состоящими из одной или нескольких дизель-генераторных установок (ДГУ). Количество ДГУ, работающих в зонах автономного энергоснабжения на территории России [2–4], составляет около 50 тыс. штук суммарной мощностью 17–20 млн. кВт с выработкой электроэнергии около 50 млрд. кВт·ч в год. В связи с удалённостью потребителей и высокой стоимостью доставки топлива экономически обоснованный тариф электроэнергии у потребителя колеблется от 15 до 150 руб./ кВт·ч. Например, в Ненецком автономном округе в 2014 году тариф, который оплачивается за счет государственных дотаций и перекрёстного финансирования, составил 45 руб./кВт·ч.

Северные регионы России можно охарактеризовать некоторыми общими признаками:

- мощность систем энергоснабжения различных потребителей составляет от 50 до 1 000 кВт [4];
- высокий ветровой потенциал: средние скорости ветра на высоте 10 м более 5 м/с и удельная плотность ветрового потока более 400 Вт/м^2 [4];
- суровые климатические условия: температура ниже –40 ºС зимой, вечная мерзлота;
- географическая удалённость потребителей от источников топлива и энергии;
- сложная транспортная логистика и высокая стоимость доставки топлива и оборудования.

Мировой опыт США (Аляски), Канады, Финляндии, Норвегии, Швеции – стран, имеющих схожие природно-климатические условия, показывает, что наиболее рационально создавать в северных регионах ветродизельные электростанции (ВДЭС) [5], которые обуславливают экономию дальнепривозных топливно-энергетических ресурсов (показан на рисунке 1).

Рис. 1. Ветродизельная электростанция на Аляске (США)
Fig. 1. Wind-diesel power plants in Alaska (USA)

Вопросами создания комплексных систем энергоснабжения на основе ВИЭ посвящены работы М.И. Бальзанникова [6], П.П. Безруких [7], С.В. Грибкова [8], R. Hunter [9],Y. Hu и P. Solana [10], A. Ilinca [11], E. Kamal [12], R. Sebastian [13], а также работы авторов [1, 4, 5, 14–16] и др. Анализ этих работ показывает, что наиболее эффективным механизмом экономии топлива является использование ВИЭ в комплексных системах энергоснабжения для обеспечения средней и высокой доли замещения. Учитывая высокий ветровой потенциал северных территорий, строительство такой ВДЭС наиболее целесообразно. Однако для обеспечения эффективности такой системы энергоснабжения необходима разработка комплексной методики выбора структуры и состава оборудования ВДЭС с учётом природно-климатических, социально-экономических, транспортных и экологических факторов.

Постановка цели и задач работы

Процесс выбора состава оборудования можно разделить на два варианта: оптимизация по одному параметру или по нескольким. Первый вариант описан в работах [13, 14], в которых обоснованы критерии выбора основного оборудования ВДЭС, коэффициенты веса каждого из этих критериев и функции эффективности для дополнительного оборудования. Алгоритм выбора оборудования ВДЭС по одному параметру – мощности ВДЭС – показан на рисунке 2.

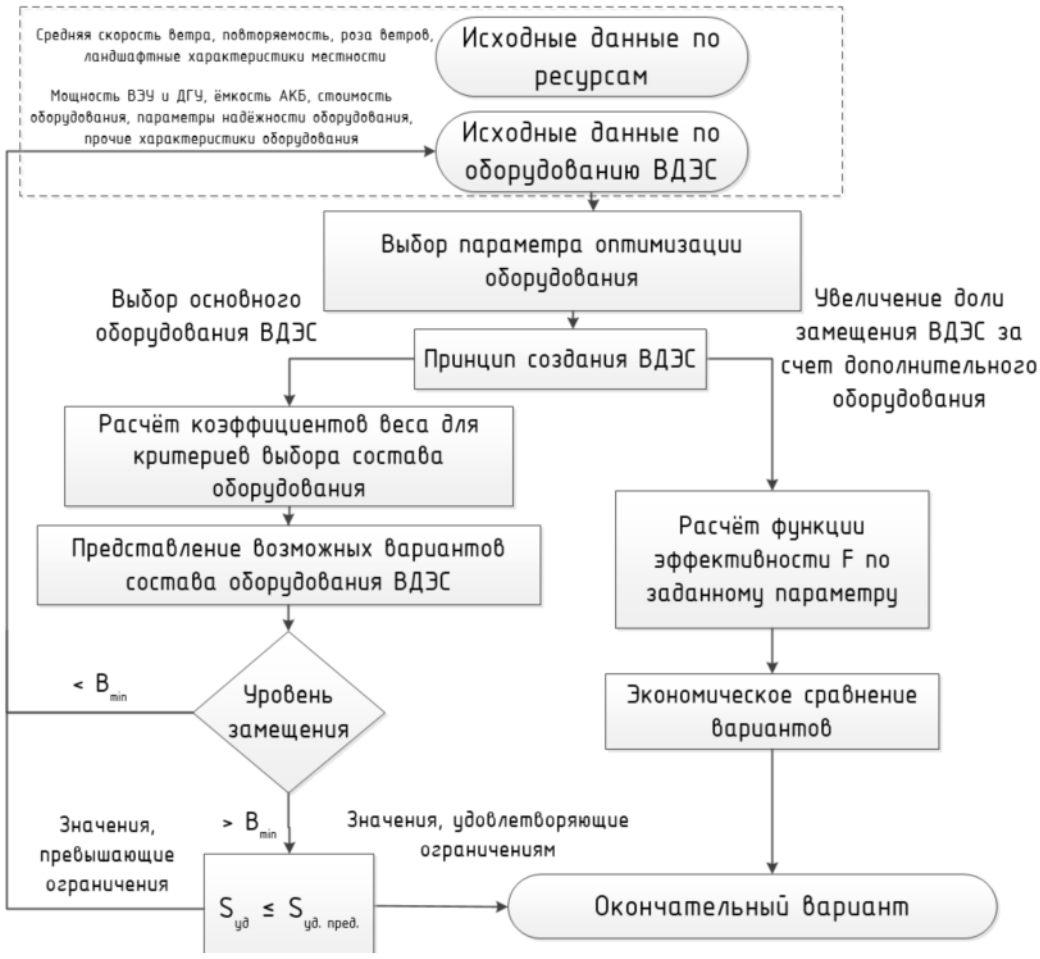

Рис. 2. Алгоритм решения однопараметрической задачи
Fig. 2. The algorithm of one-parameter objective solving

Во втором случае задача оптимизации состава оборудования ВДЭС с учётом большого числа параметров имеет вид [17]:

$$x_m \to \max/\min, \quad (1)$$

где x_m – параметры ВДЭС; m – число параметров.

Для решения такой многопараметрической задачи выбора состава оборудования ВДЭС с высокой долей замещения применяется метод анализа иерархий (МАИ) [18, 19], который позволяет осуществить выбор приемлемого варианта состава оборудования на основе анализа всех возможных вариантов.

International Publishing House for scientific periodicals "Space"

Международный издательский дом научной периодики "Спейс"

Алгоритм решения многопараметрической задачи

Решение задачи представляет собой многоуровневую последовательность.

На первом уровне формируются исходные данные, характеризующие регион: ветровые ресурсы региона, график нагрузки и мощности потребителя, стоимость поставляемого дизельного топлива, тариф на электрическую энергию и другие характеристики.

Второй уровень состоит из двух подуровней. На первом подуровне выбираются все возможные варианты состава оборудования ВДЭС, отличающиеся друг от друга параметрами и характеристиками. Выбор состава оборудования ВДЭС с высокой долей замещения должен быть выполнен в соответствии со следующими рекомендациями [4, 8–11]:

1. Кроме основного оборудования (ДГУ, ветроэнергетические установки), в состав ВДЭС входят: дополнительные разменные ДГУ, аккумуляторные батареи (АКБ), двунаправленный инвертор (И), шкафы управления интеллектуальной системой и др.
2. Доля установленной мощности ветроэнергетических установок (ВЭУ) должна составлять от 100 до 400 % от установленной мощности ДГУ.
3. Минимальная мощность ДГУ определяется в соответствии с ветровыми ресурсами региона и мощностью аккумулирующего оборудования.
4. На ДЭС используется минимум два ДГУ, один из которых должен быть резервным.
5. Мощность дополнительных ДГУ должна быть в диапазоне 25–35 % от мощности основных ДГУ, чтобы не позволять основным ДГУ работать при низких значениях КПД.
6. Выбор ВЭУ, ДГУ и АКБ производится из разработанной базы данных оборудования.

В результате составляются перечни используемого оборудования по типам и характеристикам, удовлетворяющим рекомендациям. Для дальнейших расчетов выделяются характеристики:

- количество ВЭУ m, шт.;
- ёмкость АКБ C, А·ч;
- число часов наработки до технического обслуживания (ТО) t, ч.

На втором подуровне проводится расчет основных параметров выбранных вариантов ВДЭС:

- стоимость 1 кВт установленной мощности S, тыс. руб.;
- уровень замещения b, %;
- количество замен АКБ в год h, шт.;

На третьем уровне происходит отбор парето-оптимального множества [17] вариантов ВДЭС. Выбор вариантов происходит с помощью граничных условий:

- нижняя граница – минимум уровня замещения ($b_{\min}$, %);
- верхняя граница – максимум стоимости оборудования ВДЭС ($S_{\max}$, млн. руб.);
- максимум количества включений/отключений ДГУ (раз);
- максимум числа циклов зарядов/разрядов АКБ (раз).

На четвёртом уровне производится сравнение возможных вариантов методом анализа иерархий. Для данного метода характерно составление матриц парных сравнений и определение коэффициентов веса для каждого критерия.

Многоуровневая система выбора окончательного решения состава оборудования ВДЭС с высокой долей замещения показана на рисунке 3.

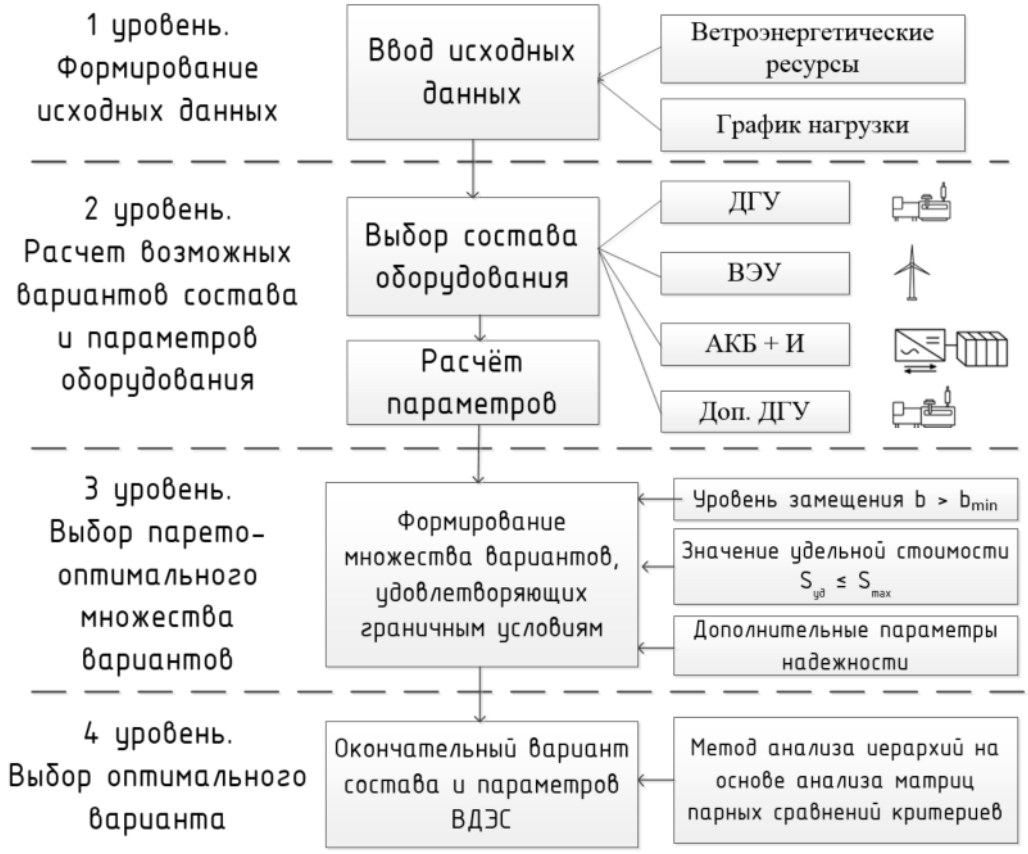

Рис. 3. Многоуровневый выбор состава оборудования
Fig. 3. The multilevel selection of equipment configuration

Применение метода анализа иерархий для принятия окончательного решения

Метод анализа иерархий в общем виде представляет собой иерархическую структуру, на более низких уровнях которой сравниваются параметры оборудования ВДЭС, а на более высоких уровнях параметры объединены в критерии, и происходит сравнение этих критериев. Согласно МАИ при объединении схожих параметров в более общий критерий субъективность экспертной оценки снижается. Кроме того, метод позволяет добавлять и учитывать как дополнительные параметры, так и дополнительные критерии.

Решение задачи (1) для выбранных на втором уровне параметров записывается в виде:

$$\begin{cases} b, t, C \to \max, \\ S, m, h \to \min. \end{cases} \qquad (2)$$

Выбранные параметры группируются в следующие критерии:

1. Стоимость X, к которой относится параметр «Стоимость 1 кВт установленной мощности».
2. Замещение Y объединяет параметры «Уровень замещения», «Количество ВЭУ», «Ёмкость АКБ».
3. Автономность Z объединяет параметры «Замена АКБ в год», «Число часов наработки до ТО».

В основе метода анализа иерархий находится попарное сравнение матриц, составленных из значений параметров, принадлежащих каждому из n-вариантов. Для каждого параметра составляется своя матрица с размерностью $n \times n$. Для возможности сравнения различных параметров между собой используется переход из абсолютной шкалы в относительную.

Далее рассчитываются матрицы-вектора приоритетов, которые состоят из значений приоритетов i-го варианта определённого параметра. Например, для уровня замещения приоритет i-го варианта b_i будет выглядеть, как

$$b_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^{n} B_{i,j}}, \qquad (4)$$

где n – число вариантов, $B_{i,j}$ – элемент i-ой строки j-ого столбца матрицы параметра «Уровень замещения» B.

Полученные значения составят матрицу-вектор приоритетов, в котором максимальный приоритет будет иметь элемент с наибольшим значением. Для минимизации какого-нибудь критерия необходимо использовать транспонированную матрицу B.

International Publishing House for scientific periodicals "Space"
Международный издательский дом научной периодики "Спейс"

Согласно МАИ, коэффициенты веса присваиваются критериям с помощью ранжированной шкалы значений от 1 до 9. Затем составляется матрица коэффициентов веса (α для замещения, β для автономности), в которой диагональные элементы будут иметь обратное значение. Путем перемножения матрицы-вектора приоритета параметров на матрицу коэффициентов веса (α, β) получим относительное значение веса для каждого варианта. Далее то же самое делается и для критериев. Сравнение критериев происходит с учетом матрицы коэффициентов веса ω. Алгоритм применения МАИ для выбора окончательного варианта состава оборудования ВДЭС показан на рисунке 4.

Рис. 4. Алгоритм выбора окончательного варианта состава оборудования ВДЭС с высокой долей замещения
Fig. 4. The algorithm of the final version selection of WDPP equipment configuration with a high penetration level

В общем виде значение *I*, которое выражает относительный приоритет *i*-го состава оборудования, будет записываться в виде:

$$\begin{cases} I = \omega_1 \cdot X_i + \omega_2 \cdot Y_i + \omega_3 \cdot Z_i, \\ X_i = S_i, \\ Y_i = \alpha_1 \cdot b_i + \alpha_2 \cdot C_i + \alpha_3 \cdot m_i, \\ Z_i = \beta_1 \cdot h_i + \beta_2 \cdot t_i, \\ I = \max,\ i \in D,\ i > 0. \end{cases} \quad (5)$$

Оптимальным составом оборудования признаётся тот состав, значение *I* которого окажется выше, чем значения у других составов.

Пример выбора оптимального состава оборудования ВДЭС в Ненецком автономном округе

Для примера рассмотрен выбор оптимального варианта состава оборудования ВДЭС в пос. Амдерма Ненецкого автономного округа. Проанализированы варианты с использованием разного состава оборудования: ВЭУ марок Ghre-30 и АВЭУ-10, свинцово-кислотные АКБ разной ёмкости (от 96 до 336 кВт·ч) и ДГУ марки АД30_ММЗ с разным числом часов наработки до ТО (от 250 до 1 000 ч.). Установленная мощность станции составляет 90 кВт с суммарной выработкой 200 тыс. кВт·ч/год.

Для данного состава оборудования рассчитан наилучший вариант ВДЭС. В соответствии с третьим уровнем методики приняты следующие граничные условия для стоимости оборудования *S*, доли замещения *b* и числа часов автономной работы до технического обслуживания *t*:

$$\begin{cases} S < 21\,000 \text{ тыс.руб.}, \\ b \geq 80\,\%, \\ t \geq 250 \text{ ч.} \end{cases} \quad (6)$$

Схема ВДЭС с высокой долей замещения показана на рисунке 5.

International Publishing House for scientific periodicals "Space"
Международный издательский дом научной периодики "Спейс"

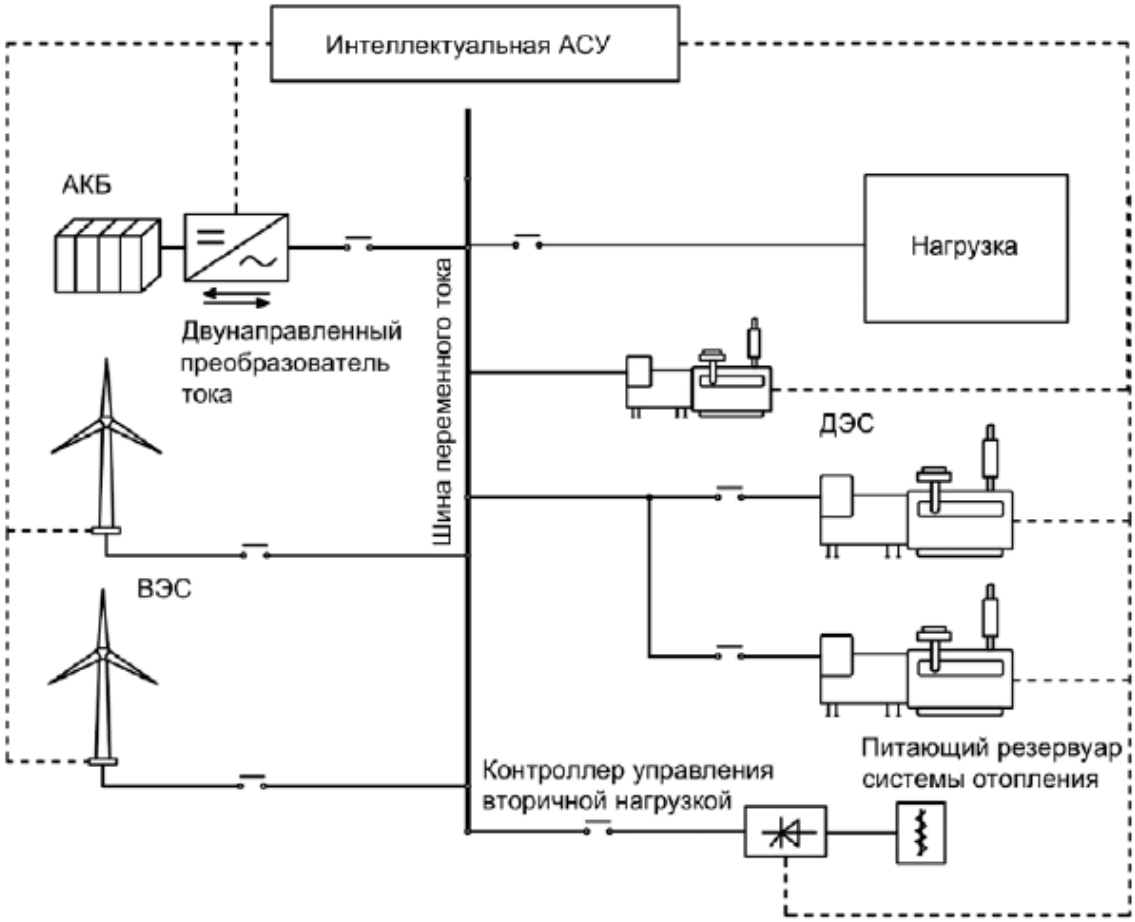

Рис. 5. Схема ВДЭС с высокой долей замещения
Fig. 5. Scheme of WDPP with a high penetration level

Результаты расчетов приведены в таблице 1. В таблице более тёмным цветом выделены те значения вариантов, которые удовлетворяют условию (2).

Таблица 1

Параметры выбранных вариантов

Table 1

Parameters of chosen options

Номер варианта	1	2	3	4	5	6
Стоимость 1 кВт установленной мощности, тыс. руб.	229	226,3	233	227,3	227,9	233,1
Уровень замещения, %	81	80	80	81	80	80
Количество ВЭУ, шт.	2	2	2	2	2	6
Ёмкость АКБ, А·ч	144	96	96	144	96	336
Замена АКБ в год	0,5	0,33	0,33	0,5	0,33	0,5
Часы наработки до ТО	500	500	250	1 000	1 000	1 000

Приоритетным параметром в критерии «Замещение» выбран «Уровень замещения», в критерии «Автономность» выбран «Число часов наработки до ТО». Значения параметров приведены на графике (рисунок 5).

В итоге решение системы уравнения (5) для каждого из шести вариантов представлено в таблице 2 и на рисунке 6.

International Publishing House for scientific periodicals "Space"
Международный издательский дом научной периодики "Спейс"

Таблица 2

Значение относительного приоритета каждого из вариантов

Table 2

The value of the relative priority of all options

№ вар-та	1	2	3	4	5	6
Значение I	0,153596	0,153792	0,13503	0,185907	0,184747	0,186967

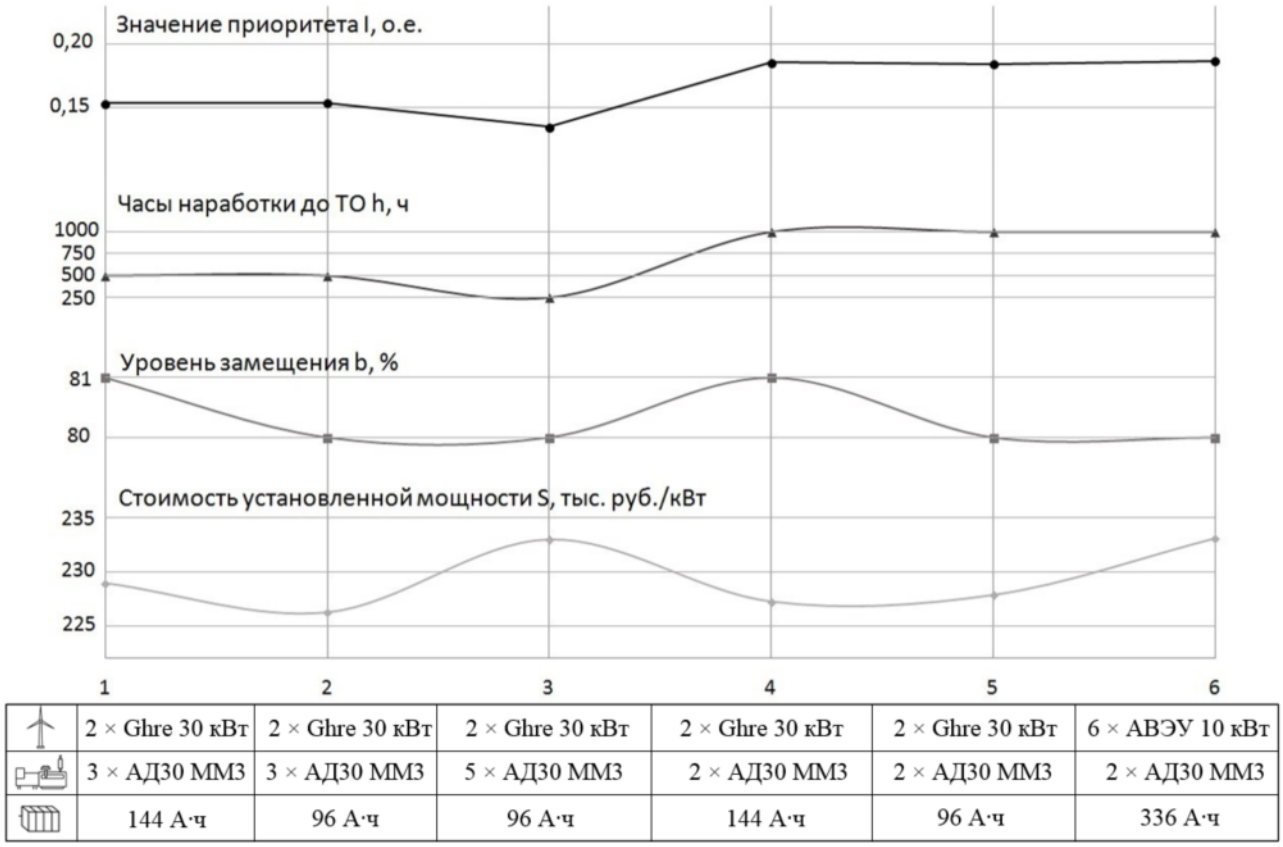

Рис. 6. Состав оборудования, значения основных параметров и приоритета I каждого варианта
Fig. 6. The equipment configuration, the values of parameters and priority I of all options

В результате расчёта вариант № 6 имеет максимальное значение приоритета *I*, то есть оптимальным признан 6-й вариант состава оборудования.

Пос. Амдерма находится в Ненецком автономном округе, экономически обоснованный тариф в котором составляет 45 руб./кВт·ч. Для оптимального варианта состава оборудования ВДЭС стоимость электроэнергии составляет 25,6 руб./кВт·ч. Экономия топлива для данного варианта составляет около 1,7 млн. руб. в год (при стоимости дизеля 35 руб./л). Экономический эффект за счет снижения тарифа составляет около 4 млн. руб./год.

Выводы

1. Разработан алгоритм расчета оптимального варианта состава и параметров оборудования ВДЭС на основе многоуровневой оптимизации, адаптированной к суровым климатическим условиям, с учётом природно-климатических, социально-экономических, транспортных и экологических факторов.

2. Разработана методика многопараметрической оптимизации выбора состава оборудования ВДЭС с высокой долей замещения на основе метода анализа иерархий, адаптированного под параметры и критерии, применяемые в области использования ВИЭ.

3. На основе предложенной методики рассчитан вариант состава и параметров ВДЭС с высокой долей замещения для условий Ненецкого автономного округа. В результате расчета обоснован вариант, в котором за счет внедрения высокой доли использования ветровой энергии обеспечены экономический эффект около 4 млн. руб./год и снижение стоимости электроэнергии с 45 до 25,6 руб./кВт·ч. Таким образом, подтверждена эффективность проектирования и строительства ВДЭС с высокой долей замещения в северных регионах России.

International Publishing House for scientific periodicals "Space"
Международный издательский дом научной периодики "Спейс"

Исследования проводились при поддержке проекта № 14.577.21.0066 в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» и Президентского гранта НШ-2240.2014.8 государственной поддержки ведущих научных школ РФ.

Список литературы

1. Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика. СПб: Наука, 2013. 308 с.

2. Поляков И.С., Хватов О.С., Дарьенков А.Б., Пшеничников В.В. Имитационная модель дизель-генераторной электростанции с переменной скоростью вращения на базе синхронного генератора // Эксплуатация морского транспорта. Санкт-Петербург. 2012. № 1. С. 61 – 67.

3. Основные виды производства электроэнергии на территории России [Электронный ресурс] // Министерство энергетики Российской Федерации [Офиц. сайт]. URL: http://www.minenergo.gov.ru/ (дата обращения: 02.03.2015 г.)

4. Elistratov V.V., Denisov R.S., Konishchev M.A., Knezhevich M. Problems of construction Wind-Diesel Power Plants in harsh climatic conditions // Journal of Applied Engineering Science. Vol. 12. No. 1. 2014. P. 29–36.

5. Елистратов В.В., Конищев М.А. Ветродизельные электростанции для автономного энергоснабжения северных территорий России // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). 2014. № 11 (151). С. 62–71.

6. Бальзанников М.И. Елистратов В.В. Возобновляемые источники энергии. Аспекты комплексного использования // Самарский государственный архитектурно-строительный университет. Самара, 2008.

7. Безруких П.П., Стребков Д.С. Состояние, перспективы и проблемы развития возобновляемых источников энергии // Малая Энергетика. М.: ОАО «НИИЭС», 2005. № 1–2. С. 6–12.

8. Грибков С.В. Состояние и перспективы развития ветровых систем электроснабжения малой мощности // Малая Энергетика. М.: ОАО «НИИЭС». 2006. № 1–2. С. 67–75.

9. Hunter R., Elliot G. Wind-diesel system. A guide to the technology and its implementation // Published by the Press Syndicate of the University of Cambridge. CambridgeUniversityPress, 1994. 261 p.

10. Hu Y., Solana P. Optimization of a hybrid diesel-wind generation plant with operational options // Renewable Energy. MAR 2013. Vol. 51. P. 364–372.

11. Weis T.M., Ilinca A. The utility of energy storage to improve the economics of wind-diesel power plants in Canada // Renewable Energy. JUL 2008. Vol. 33. P. 1544–1557.

12. Kamal E., Koutb M., Sobaih A.A., Abozalam B. An intelligent maximum power extraction algorithm for hybridwind–diesel-storage system // Electrical Power and Energy Systems. 2010. No 32. P. 170–177.

13. Sebastian R. Simulation of the transition from «wind only» mode to «wind-diesel» mode in a no-storage wind-diesel system // IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS. September 2009. Vol. 7, No 5. P. 539–544.

14. Денисов Р.С. К вопросу обоснования состава и параметров оборудования ветродизельной электростанции // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). 2014. № 11 (151). С. 72–77.

15. Денисов Р.С., Елистратов В.В. Обоснование состава оборудования ВДЭС с высокой долей замещения для автономных северных поселений // Возобновляемая энергетика. Пути повышения энергетической и экономической эффективности: Материалы Первого Международного форума «Reenfor-2014». 10-11 ноября 2014 г. Москва: ОИВТРАН, 2014.

16. Elistratov V.V., Kudryasheva I.G., Pilipets P.A. Energy efficient solutions of power supply in north regions // Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 725–726, P. 1463–1469.

17. Черноруцкий И.Г. Методы оптимизации и принятия решений: Учебное пособие. СПб: Издательство «Лань», 2001.

18. Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. М.: Издательство ЛКИ, 2008. 360 с.

19. Ногин В.Д. Принятие решений при многих критериях. Учебно-методическое пособие. СПб: Издательство «ЮТАС», 2007. 104 с.

References

1. Elistratov V.V. Vozobnovlâemaâ ènergetika. Saint-Petersburg: Nauka Publ., 2013, 308 p. (in Russ.).

2. Polyakov I.S., Hvatov O.S., Dar'enkov A.B., Pshenichnikov V.V. Imitacionnaâ model' dizel'-generatornoj èlektrostancii s peremennoj skorost'û vraŝeniâ na baze sinhronnogo generatora. *Èkspluataciâ morskogo transporta*, Saint-Petersburg, 2012, no. 1, pp. 61-67 (in Russ.).

3. Osnovnye vidy proizvodstva èlektroènergii na territorii Rossii. Ministerstvo ènergetiki Rossijskoj Federacii. Available at: http://www.minenergo.gov.ru/ (02.03.2015) (in Russ.).

4. Elistratov V.V., Denisov R.S., Konishchev M.A., Knezhevich M. Problems of construction Wind-Diesel Power Plants in harsh climatic conditions. *Journal of Applied Engineering Science*., 2014, vol. 12, no. 1, pp. 29-36 (in Eng.).

5. Elistratov V.V., Konishchev M.A. Vetrodizel'nye èlektrostancii dlâ avtonomnogo ènergosnabženiâ severnyh territorij Rossii. *International Scientific Journal «Al'ternativnaâ ènergetika i èkologiâ»* (*ISJAEE*), 2014, no. 11 (151), pp. 62–71 (in Russ.).

International Publishing House for scientific periodicals "Space"
Международный издательский дом научной периодики "Спейс"

6. Bal'zannikov M.I., Elistratov V.V. Vozobnovlâemye istočniki ènergii. Aspekty kompleksnogo ispol'zovaniâ. Samarskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet, Samara, 2008 (in Russ.).

7. Bezrukih P.P., Strebkov D.S. Sostoânie, perspektivy I problemy razvitiâ vozobnovlâemyh istočnikov ènergii. *Malaâ Ènergetika*, Moscow: OAO «NIIÈS» Publ., 2005, no. 1–2, pp. 6–12 (in Russ.).

8. Gribkov S.V. Sostoânie I perspektivy razvitiâ vetrovyh sistem èlektrosnabženiâ maloj mošnosti. *Malaâ Ènergetika*, Moscow: OAO «NIIÈS» Publ., 2006, no. 1–2, pp. 67–75 (in Russ.).

9. Hunter R., Elliot G. Wind-diesel system. A guide to the technology and its implementation. Published by the Press Syndicate of the University of Cambridge. CambridgeUniversity Press, 1994, 261 p. (in Eng.)

10. Hu Y., Solana P. Optimization of a hybrid diesel-wind generation plant with operational options. *Renewable Energy*, MAR 2013, vol. 51, pp. 364–372 (in Eng.).

11. Weis T.M., Ilinca A. The utility of energy storage to improve the economics of wind-diesel power plants in Canada. *Renewable Energy*, JUL 2008, vol. 33, pp. 1544–1557 (in Eng.).

12. Kamal E., Koutb M., Sobaih A.A., Abozalam B. An intelligent maximum power extraction algorithm for hybridwind–diesel-storage system. *Electrical Power and Energy Systems*, 2010, no. 32, pp. 170–177 (in Eng.).

13. Sebastian R. Simulation of the transition from «wind only» mode to «wind-diesel» mode in a no-storage wind-diesel system. *IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS*, September 2009, vol. 7, no. 5, pp. 539–544 (in Eng.).

14. Denisov R.S. K voprosu obosnovaniâ sostava I parametrov oborudovaniâ vetro-dizel'noj èlektrostancii. *International Scientific Journal «Al'ternativnaâ ènergetika i èkologiâ»* (*ISJAEE*), 2014, no. 11 (151), pp. 72–77 (in Russ.).

15. Denisov R.S., Elistratov V.V. Obosnovanie sostava oborudovaniâ VDÈS s vysokoj dolej zameŝeniâ dlâ avtonomnyh severnyh poselenij. *Vozobnovlâemaâ ènergetika. Puti povyšeniâ ènergetičeskoj i èkonomičeskoj èffektivnosti: Materialy Pervogo Meždunarodnogo foruma «Reenfor-2014»*, 10–11 November 2014, Moscow: OIVT RAN Publ., 2014 (in Russ.).

16. Elistratov V.V., Kudryasheva I.G., Pilipets P.A. Energy efficient solutions of power supply in north regions. *Applied Mechanics and Materials*, 2015, vol. 725-726, pp. 1463–1469 (in Russ.).

17. Chernorucky I.G. Metody optimizacii I prinâtiâ rešenij: study guide. Saint-Petersburg: «Lan'» Publ., 2001 (in Russ.).

18. Saati T.L. Prinâtie rešenij pri zavisimostâh i obratnyh svâzâh: Analitičeskie seti. Moscow: LKI Publ., 2008. 360 p (in Russ.).

19. Nogin V.D. Prinâtie rešenij pri mnogih kriteriâh: study guide. Saint-Petersburg: «ÛTAS» Publ., 2007. 104 p (in Russ.).

Транслитерация по ISO 9:1995

АКЦИЯ «АРХИВНЫЕ НОМЕРА 2000–2013»:

Научно-технический центр «ТАТА»
предлагает приобрести архивные номера журналов

1. Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE) (2000-2013);
2. Международный научный журнал «Письма в «АЭЭ» (№ 1, 2014);
3. Международный научный журнал «Космонавтика» (№ 1, 2011; № 1-2 и № 3-4, 2012);
4. Международный научный журнал «Фундаментальная и прикладная физика» (№ 1, 2012)
5. Международный научный журнал «История оружия и военное искусство» (№ 1-2, 2012).

стоимость одного номера – 360 руб. (почтовые расходы на территории РФ включены);
стоимость комплекта из 6 номеров (любых) – 1 860 руб. (почтовые расходы на территории РФ включены);
стоимость комплекта из 12 номеров (любых) – 3 000 руб. (почтовые расходы на территории РФ включены).

количество журналов ограничено!

по вопросам приобретения обращаться
e-mail: p.maximova@hydrogen.ru
(*Максимова Полина Александровна*)

International Publishing House for scientific periodicals "Space"
Международный издательский дом научной периодики "Спейс"