

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ TECHNICAL SCIENCES

Научная статья

УДК 620.9:004.942+517.876:5

ББК 31.6в631.0+22.186

С 37

DOI: 10.53598 / 2410-3225-2021-3-286-42-54

Методологические основы инновационных решений в возобновляемой энергетике (Рецензирована)

Владимир Сергеевич Симанков¹, Павел Юрьевич Бучацкий²

¹ Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия, vs@simankov.ru

² Адыгейский государственный университет, Майкоп, Россия, buch@adygnet.ru

Аннотация. Рассмотрен подход, позволяющий методами системного анализа исследовать энергетическую систему с возобновляемыми источниками энергии. Предлагается использовать возможности методов многокритериальной оптимизации, анализа и принятия решений при разработке системы моделей поступления и потенциала возобновляемых источников энергии, позволяющей учитывать особенности технологии преобразования энергии.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, системное исследование, анализ, синтез, математические модели, критерии эффективности, алгоритм вовлечения, инновационные решения

Original Research Paper

Methodological foundations of innovative solutions in renewable energy engineering

Vladimir S. Simankov¹, Pavel Yu. Buchatskiy²

¹ Kuban State University of Technology, Krasnodar, Russia, vs@simankov.ru

² Adyghe State University, Maikop, Russia, buch@adygnet.ru

Abstract. We deal with the approach that makes it possible to investigate the energy system with renewable energy sources (RES) by methods of system analysis. We propose to use multi-criterion optimization, analysis and decision-making techniques in the development of a system of input and potential models for renewable energy sources that took into account the characteristics of energy conversion technology.

Keywords: renewable energy sources, systems research, analysis, synthesis, mathematical models, efficiency criteria, engagement algorithm, innovative solutions

Сегодня энергетические ресурсы занимают первое место в экономическом списке любой страны, потому что они являются движущими силами социального, промышленного, технологического и культурного взаимодействия, которое может продвинуть страну к устойчивому и процветающему будущему.

Использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в последние годы стало одним из основных трендов развития мировой энергетики, что подтверждается растущей конкуренцией между ее традиционными составляющими – газом, нефтью, углем, атомным сырьем – и ВИЭ – солнечной, ветровой, биомассой, термальной и гидроэнергией, вырабатываемой небольшими станциями [1]. Об этом свидетельствует динамика вводов новой генерации в мире, представленной на рисунке 1. Из рисунка видно, что с 2015 г. доля ввода генерации с ВИЭ превышает долю ввода традиционной генерации.

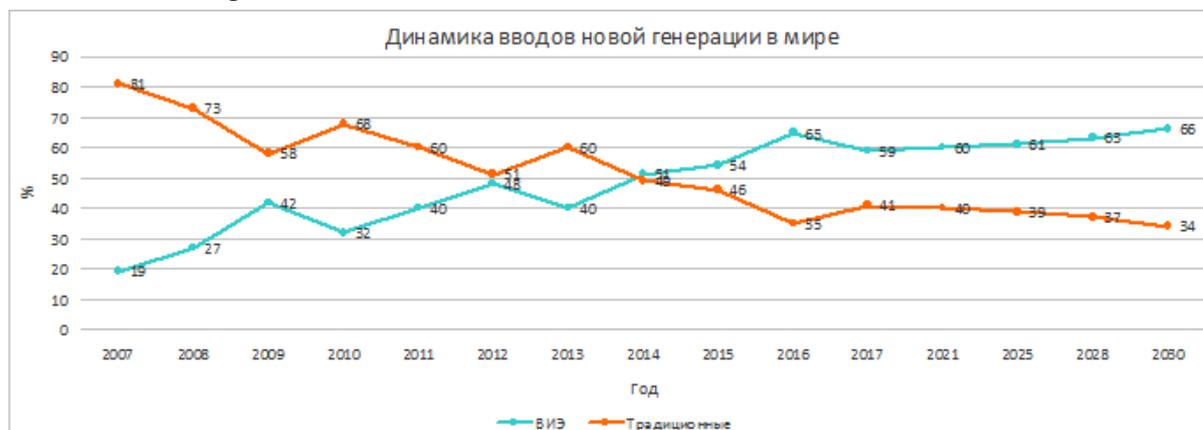


Рис. 1. Динамика вводов новой генерации с ВИЭ в мире

Fig. 1. Dynamics of inputs of new generation with renewable energy sources in the world

В России имеются необходимые ресурсы и условия для развития ВИЭ.

Нормативно-правовым обеспечением становления и развития такой инновационной отрасли, как возобновляемая энергетика, являются Конституция Российской Федерации, федеральные законы, акты Президента Российской Федерации и Правительства Российской Федерации [2–14]:

– Федеральный закон Российской Федерации от 26 марта 2003 г. N 35-ФЗ «Об электроэнергетике» [13];

– Федеральный закон Российской Федерации от 4 ноября 2007 г. № 250-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с осуществлением мер по реформированию Единой энергетической системы России» [14].

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. № 1523-р была утверждена «Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года». И сравнительно недавно распоряжением Правительства Российской Федерации от 01.06.2021 г. № 1446-р утверждены изменения, которые вносятся в Основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2035 года. Все это создает основы для второй масштабной программы развития «зеленой» электроэнергетики на территории России, рассчитанной на 2025–2035 годы [15].

Регионами-лидерами по объему реализованных проектов в рамках действующего механизма поддержки являются Оренбургская (330 МВт солнечных электростанций, далее СЭС), Ростовская (296 МВт ветровых электростанций, далее ВЭС), Астраханская (285 МВт СЭС) области, республики Адыгея (150 МВт ВЭС) и Алтай (120 МВт СЭС), Ставропольский край (100 МВт СЭС). По мере реализации инвестиционных проектов ВИЭ, отобранных по итогам конкурсов до 2024 года, к списку лидирующих регионов добавятся Краснодарский край, Калмыкия и Мурманская область [15]. В таблице 1 представлены наиболее крупные введенные объекты ВИЭ на оптовом рынке электроэнергии.

Таблица 1

Крупные введенные объекты возобновляемых источников энергии

Table 1. Major renewable energy facilities introduced

Наименование объекта	Мощность, МВт	Место расположения	Системный интегратор
Адыгейская ВЭС	150	Республика Адыгея	«НоваВинд» (ГК «Росатом»)
Гуковская ВЭС	99	Ростовская область	«Третий Ветропарк ФРВ»
Каменская ВЭС	99	Ростовская область	«Второй Ветропарк ФРВ»
Сулинская ВЭС	99	Ростовская область	«Второй Ветропарк ФРВ»
Самарская СЭС № 2	75	Самарская область	«Самарская СЭС»
Ахтубинская СЭС	60	Астраханская область	ГК «Хевел»
Оренбургская СЭС-3	60	Оренбургская область	«Солнечный ветер»
Фунтовская СЭС	60	Астраханская область	ГК «Хевел»
Старомарьевская СЭС	50	Ставропольский край	«Стар Проджектс»
Ульяновская ВЭС-2	50	Ульяновская область	«Первый Ветропарк ФРВ»

Объем выработки электроэнергии на квалифицированных объектах ВИЭ на розничном и оптовом рынках, подтвержденный сертификатами (тыс. кВт·ч), представлен в таблице 2.

Таблица 2

Объем выработки электроэнергии на квалифицированных объектах ВИЭ на розничном и оптовом рынках (тыс. кВт·ч)

Table 2. Volume of power generation at qualified RES facilities in retail and wholesale markets (thousand kWh)

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021 (1-е полугодие)
Солнечные	23	6716	70066	147240	298292	850380	1516111	822442,67
Ветровые	6	437	1211	2055	76413	209844	550294	60542,35
Малые ГЭС до 25 МВт	6795	32740	46935	51949	47024	48915	62323	32422,52
Биогазовые	11087	21420	24579	20939	25828	27985	25062	11783,22
Биомасса и отходы	7550	42253	43069	43029	43206	43547	39030	-
Свалочный газ	-	-	5406	4478	7181	9557	1153	-

Возобновляемая энергия может оказаться существенным компонентом энергосистемы региона, особенно в той местности, где имеется большой ее потенциал.

Задача эффективного использования возобновляемых источников энергии в энергобалансе региона должна быть решена при всестороннем рассмотрении изучаемой системы или проблемы с учетом ее внешних или внутренних взаимосвязей. Следовательно, в процессе решения необходимо применять методы системного анализа.

Процесс системного исследования применительно к энергосистемам с ВИЭ состоит из пяти основных этапов [16].

Нами определена проблема – недостаток энергии в энергосистеме региона (энергонедефицит и большой объем импорта энергии), а предположительное ее решение – вовлечение ВИЭ в энергосистему.

В процессе исследования необходимо определить цели энергосистемы с ВИЭ. Количественной мерой поставленных целей являются критерии оценки эффективности функционирования энергосистемы с ВИЭ. В связи с этим необходимо разработать систему критериев и методы их количественной оценки.

На этапе анализа энергосистемы с ВИЭ необходимо определить ее модель. Если результаты моделирования не удовлетворяют целям системы, то выполняется уточнение моделей.

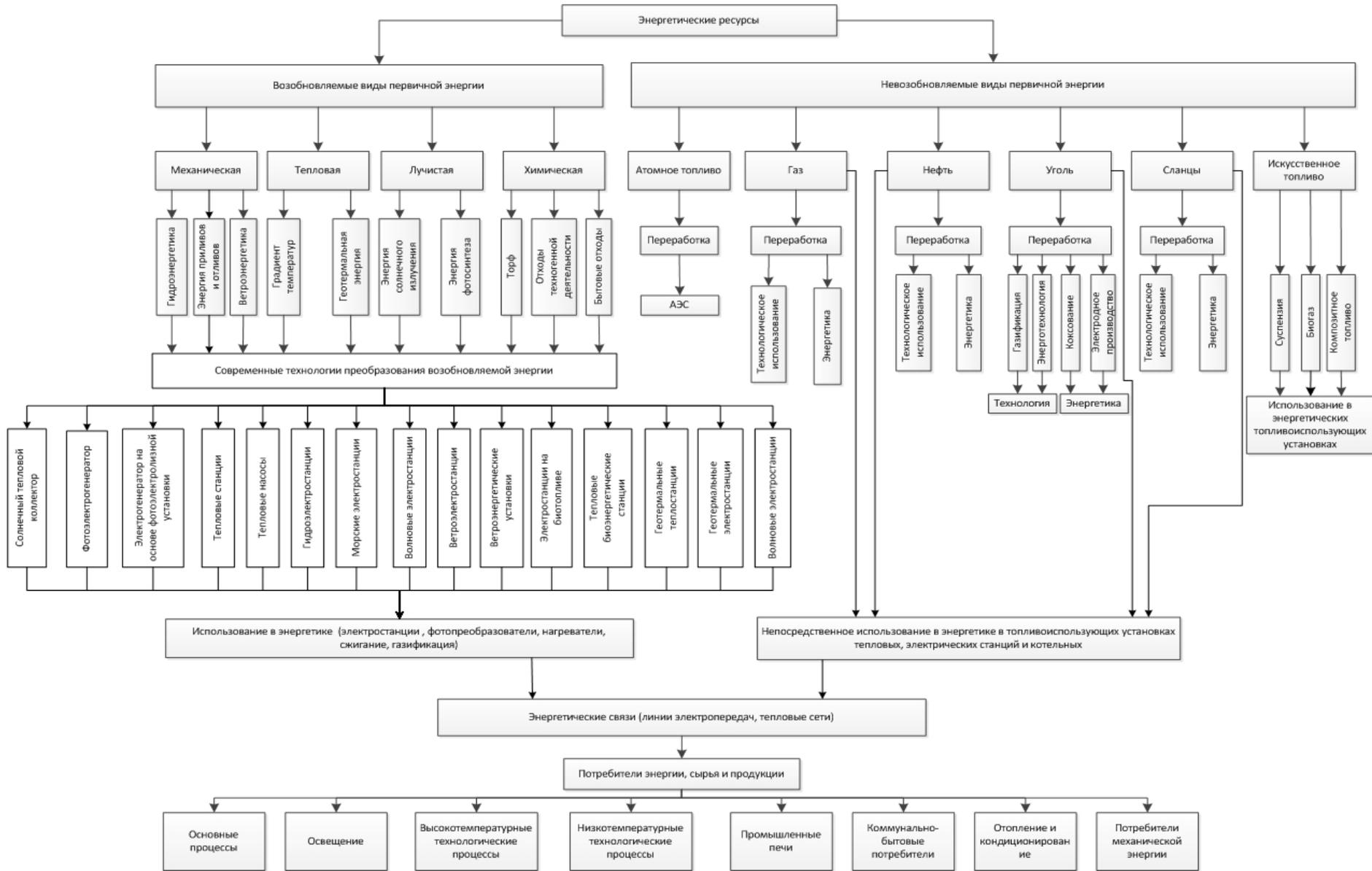


Рис. 2. Обобщенная структурная схема использования ВИЭ и невозобновляемых источников энергии

Fig. 2. General structural diagram of RES and non-renewable energy sources

В процессе проведения анализа энергосистемы с ВИЭ нами будут определены модели поступления энергии от ВИЭ, основные характеристики технологий преобразования энергии от ВИЭ, а также информационное обеспечение моделирования в рамках геоинформационных технологий.

На следующем этапе описанные алгоритмы синтезированы в единую методику оценки эффективности вовлечения ВИЭ в энергосистему, которая должна включать построение целевой функции многокритериальной оптимизационной задачи, задание системы ограничений и выбор оптимального варианта вовлечения.

На последнем этапе выбранный вариант реализуется.

Энергетика, как система, включает в себя весь топливно-энергетический комплекс. В широком смысле для энергоресурсов и энергоносителей всех видов она предусматривает их получение, переработку, преобразование, транспортирование, использование. Обобщенная структурная схема энергетических ресурсов показана на рисунке 2.

Одним из компонентов системного подхода в энергетике является иерархическое представление энергетических систем. Поэтому наиболее эффективным способом структуризации целей, преследуемых при включении ВИЭ в энергетические системы, является построение иерархии целей [17]. Она начинается с самых общих главных целей, находящихся на высших уровнях, и заканчивается более узкими на низших.

Иерархия целей для оценки эффективности возможных вариантов вовлечения ВИЭ в энергобаланс строится на основе полной иерархии целей системы энергообеспечения с ВИЭ [16]. Она позволяет приспособлять требования общих целей к конкретным проблемам. Это обеспечивает необходимую основу для установления критериев эффективности. С другой стороны, в ходе отбора может выясниться, что некоторые из целей не являются необходимыми, поскольку возможные варианты равнозначны по этим целям.

В соответствии с основными принципами системного подхода [16], системы энергообеспечения, как подсистемы общей энергетической системы, должны строиться на основе учета всех существенных критериальных свойств. Каждое свойство характеризуется одним или несколькими критериями эффективности. Учитывая, что основным условием сопоставления вариантов является удовлетворение каждым из них спроса потребителей на энергию, на целый ряд критериев должны быть наложены ограничения, то есть оптимизация проводится в ограниченной области.

Авторами была разработана полная система набора критериев для оценки эффективности систем в альтернативной энергетике с соблюдением одного из основных требований системного анализа – полноты и всесторонности рассмотрения объекта исследования, которая дает возможность оценить эффективность как отдельных энергокомплексов с ВИЭ, так и энергетических систем с использованием ВИЭ [16, 18].

Моделирование системы поступления возобновляемой энергии для оценки ее потенциала в заданном районе представляет собой синтез математических моделей, описывающих процессы поступления энергии от различных источников, и параметров технологии ее преобразования [16, 19].

Естественные потоки возобновляемой энергии, как непрерывные физические процессы, могут быть представлены в виде универсальных аналитических моделей с переменными параметрами, зависящими от специфики природных и техногенных условий исследуемой местности.

На рисунке 3 представлен комплекс математических моделей основных ВИЭ, которые представляются наиболее подходящими для перспективной оценки потенциала ВИЭ при исследовании возможностей их эффективного вовлечения в энергобаланс [16, 20, 21].

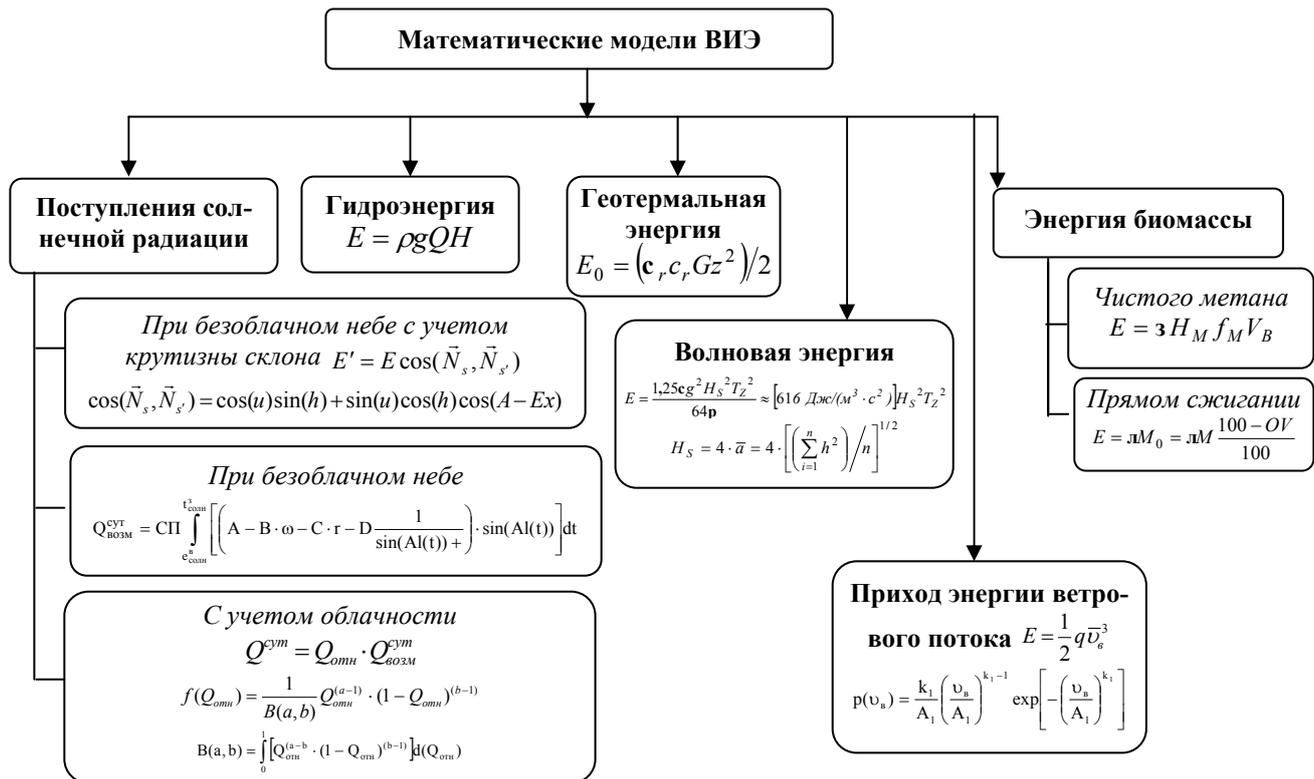


Рис. 3. Комплекс математических моделей основных ВИЭ

Fig. 3. Complex of mathematical models of the main RES

Оценка параметров моделей для характерных по снабжению каждым видом ВИЭ районов может производиться на основе существующих для большинства территорий стандартных климатических, метеорологических и других статистических данных и, таким образом, в большинстве случаев не требует проведения специальных натурных измерений, связанных со значительными трудностями и материальными затратами [16].

Проведенная верификация указанных моделей на примере региональных данных многолетних наблюдений показала их достаточную точность и адекватность для решения задач и достижения цели исследования [22].

Неотъемлемым структурным элементом общей схемы вовлечения ВИЭ в энергобаланс региона являются технологии преобразования ВИЭ. В связи с этим на основе анализа большого числа источников информации установлены современные инновационные технологии преобразования основных видов возобновляемой энергии (солнечной, ветра, биомасс, приливов и волн) [17, 23].

Основные исследования в области развития ВИЭ направлены на снижение себестоимости преобразователей за счет повышения их КПД, снижения потребления материалов, повышения энергоемкости, использования органических материалов взамен дефицитного сырья [22].

Территориальные особенности нашей страны предоставляют огромные возможности для использования распределенной генерации энергии. Распределенная генерация энергии открывает совершенно новые перспективы повышения энергетической эффективности и формирования энергетических балансов при оптимальном сочетании ВИЭ и инновационных технологий преобразования возобновляемой энергии.

Использование ВИЭ возможно при организации систем децентрализованной энергетики, распределенной энергетики и микросетей [24].

В мировой практике распределенная энергетика или распределенные энергопре-

сурсы (Distributed Energy Resources, DER) определяются следующими технологиями, представленными в таблице 3 [24].

Таблица 3

Технологии распределенных энергоресурсов

Table 3. Distributed energy technologies

Технология	Описание
Распределенная генерация (РГ)	Совокупность электростанций или объектов генерации, расположенных в непосредственной близости от места потребления энергии и подключенных либо напрямую к потребителю, либо к распределительной электрической сети для случая, когда потребителей несколько. Тип используемого станцией источника первичной энергии, как и принадлежность станции к потребителю, генерирующей или сетевой компании или третьему лицу, не имеют значения.
Управление спросом	Изменение потребления электроэнергии и мощности конечными потребителями относительно их нормального профиля нагрузки в связи с изменением цен на электроэнергию для сокращения общесистемных затрат в обмен на стимулирующие выплаты от энергорынка. Управление спросом позволяет уменьшить величины пиковых нагрузок в энергосистеме и соответственно потребности системы в установленной мощности электростанций как в краткосрочной перспективе – сутки, неделя, так и среднесрочной – один год, а также в долгосрочной перспективе.
Управление энергоэффективностью	Совокупность действий на стороне потребителя электроэнергии, которые приводят к долгосрочному уменьшению его потребности в энергии. Основой энергосберегающих мероприятий являются мероприятия, уменьшающие потребность в энергии в моменты пиковых нагрузок энергосистемы и соответственно снижающие потребности системы в установленной мощности электростанций.
Микросети	Представляют объединенную энергосистему, состоящую из распределенных энергоресурсов и нескольких электрических нагрузок (потребителей), работающих как единый управляемый объект в параллель с существующей электрической сетью или в автономном (островном) режиме.
Микроэнергосистема	Электрическая распределительная система, содержащая нагрузку и распределенные источники энергии (DER – распределенные генерирующие установки, устройства аккумулирования, управляемая нагрузка), которая может работать скоординировано и контролируемо, как будучи присоединенной к основной энергосистеме, так и в изолированном режиме.
Распределенные системы хранения электроэнергии (накопители)	Это совокупность систем хранения, установленных у конечных потребителей и на объектах распределительной сети и обеспечивающих в том числе возможности по резервированию и управлению спросом.
Электромобили	Рассматриваются в качестве одного из видов распределенных энергоресурсов, поскольку играют роль не только потребителей энергии, но и распределенных накопителей (технология vehicle-to-grid).

Основополагающим подходом при реализации перечисленных технологий является факт их непосредственного приближения к потребителю энергии [24].

Микросети позволяют обеспечить эффективную интеграцию ВИЭ и снизить потребление нефтепродуктов в изолированных регионах, сократить объемы выбросов парниковых газов и улучшить местную экологическую обстановку. Чрезвычайно важно, что они также обеспечивают бесперебойное круглосуточное энергоснабжение и высокое качество электроэнергии [24].

Перспективными направлениями развития микросетей в изолированных районах являются совершенствование аппаратного и программного обеспечения, позволяющего генерирующим мощностям и накопителям энергии, включенным в микросети, работать в наиболее оптимальном для них режиме, и сохраняющего при этом заданный уровень надежности и устойчивости работы энергосистемы; создание гибкой системы, масштабируемой по принципу «подключи и работай» (plug-and-play), которая не требовала бы обширного перепроектирования при добавлении или удалении тех или иных энергетических ресурсов; внедрение механизмов автоматизированного управления производством и потреблением множества распределенных генерирующих устройств (просьюмеров) в рамках микросетей, в том числе с использованием технологий IoT [24].

Применение ВИЭ в распределенной энергетике, а также применение микросетей на основе ВИЭ позволят разработать и оценить эффективные решения в возобновляемой энергетике с использованием рассмотренной методологии.

Рассмотренные модели в сочетании с характеристиками технологий преобразования могут быть использованы как основа методики оценки эффективности размещения объектов нетрадиционной энергетики в исследуемом регионе [22].

Объем вовлекаемой энергии зависит от мощностей имеющихся энергетических установок по производству электроэнергии с использованием определенного вида технологии преобразования энергии, полученной от возобновляемых источников, а также коэффициентов эффективности использования указанных мощностей. В качестве ограничений определено расхождение между стоимостью энергии, получаемой от ВИЭ по всем имеющимся в рассматриваемом регионе технологиям преобразования, и стоимостью энергии от традиционных источников. Также возможно включить в рассмотрение ограничение на допустимую площадь отчуждаемых земель при использовании определенной технологии преобразования энергии, последствия от воздействия на окружающую среду, ограничения возможных вариантов вовлечения по критерию затрат на создание объектов ВИЭ и т.д. [20].

Для определения множества допустимых решений поставленной задачи предлагается следующий алгоритм [19].

1. Определяется векторный критерий $F=(f_1, f_2, \dots, f_m)$, принимающий значения в пространстве m -мерных векторов R^m (f_1, f_2, \dots, f_m – числовые функции, определенные на R^m и задающие систему ограничений).

2. Формируется целевая функция $\max_{x \in X} F(x)$ и задаются ограничения

$$X = \{x \in R^n / f_j(x) \leq 0, j = 1, \dots, m, x_j \geq 0\}.$$

3. Определяется множество всех эффективных решений по Парето $X_E = \{x \in X / \neg \exists \tilde{x} \in X : f_i(\tilde{x}) \geq f_i(x) \wedge f_i(\tilde{x}) \neq f_i(x)\}$.

4. Для каждого $x \in X_E$ определяется функция полезности $u(x)$.

4.1. Проверяются структурные условия независимости выбранных критериев.

4.2. Определяются одномерные функции полезности $u_j(x_j)$ на значениях критериев X_j ;

4.3. Определяются значения весовых коэффициентов k_j ($i=1, \dots, r$) как решения r независимых уравнений, в которых k_j являются неизвестными.

4.4. Определяется функция полезности $u(x)$. В общем виде формула для $u(x)$ (в случае взаимонезависимости критериев X_1, X_2, \dots, X_m , по полезности) имеет вид:

$$u(x) = \sum_{j=1}^m k_j u_j(x_j) + k \sum_{j=1}^m k_j k_i u_j(x_j) u_i(x_i) + \dots k^{m-1} k_1 k_2 \dots k_m u_1(x_1) u_2(x_2) \dots u_m(x_m),$$

где k – общая константа шкалирования, значение которой является решением уравне-

$$\text{ния } 1 + k = \prod_{j=1}^m (1 + kk_j).$$

5. Определяется ожидаемая полезность каждого из рассматриваемых вариантов по формуле $E_j(u) = \int_x p(x_j)u(x)dx$. Если ожидаемая полезность одного варианта выше, чем другого, ему следует отдать предпочтение.

Результатом работы приведенного алгоритма является ранжирование вариантов вовлечения ВИЭ по их ожидаемой полезности.

Для реализации разработанной методологии был создан программный комплекс «СИБУРЭН-ККА 1.0» [25–27], который позволяет производить эффективную оценку возможных вариантов вовлечения ВИЭ в энергобаланс региона на основе предложенной методологии.

В качестве примера рассмотрено применение разработанной методологии программного комплекса для оценки использования возобновляемых источников энергии в энергосистемах Краснодарского края и Республики Адыгея. В результате работы программы получена таблица распределения возможных объемов вовлечения различных видов ВИЭ по районам Краснодарского края и Республики Адыгея. На ее основе выполнена графическая интерпретация (рис. 4).

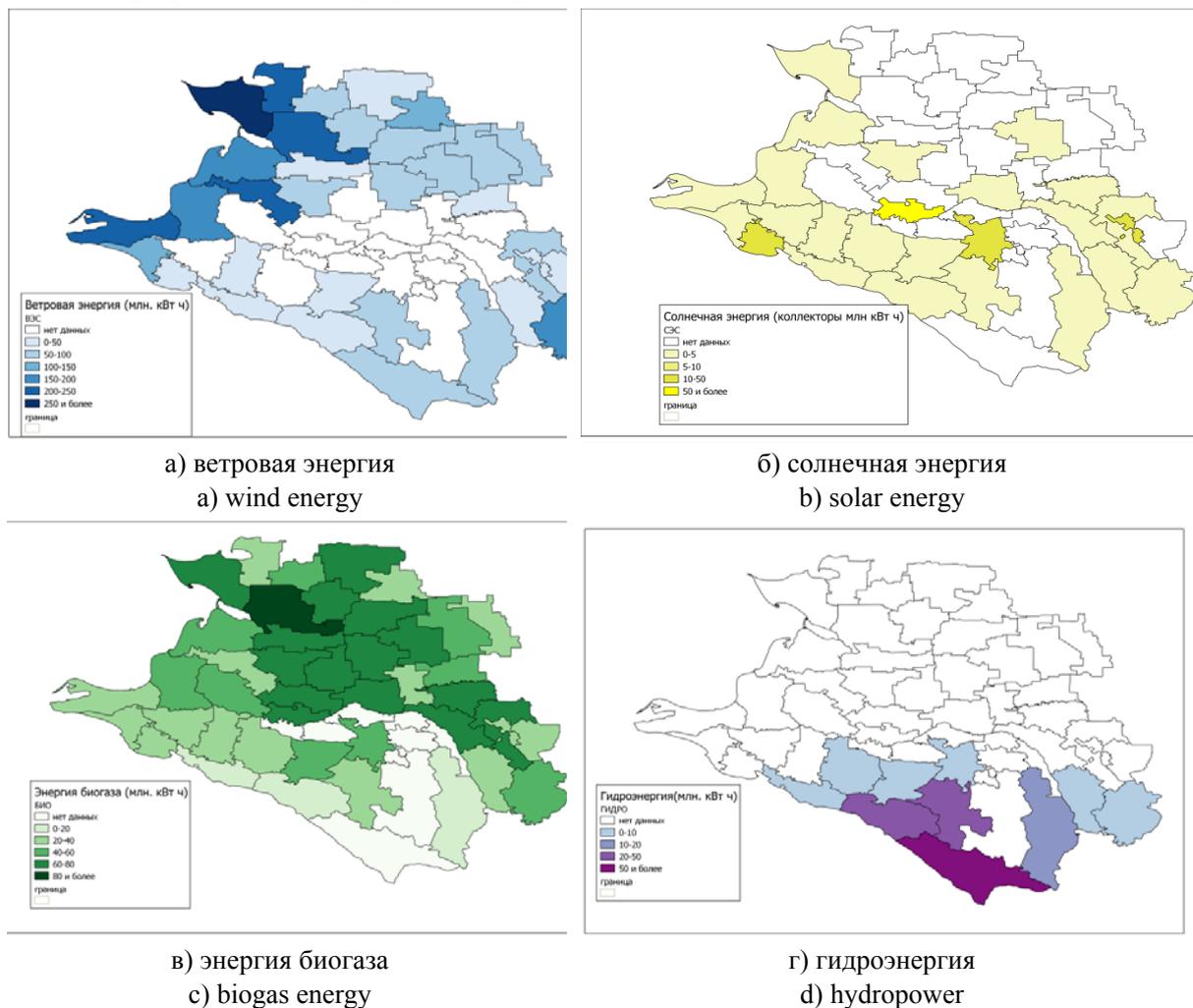


Рис. 4. Распределение возможных объемов вовлечения различных видов ВИЭ по районам Краснодарского края и Республики Адыгея

Fig. 4. Distribution of possible volumes of different types of RES involvement in the regions of Krasnodar Territory and Adyghea Republic

Предложенный подход [28–31] позволяет исследовать энергетическую систему с ВИЭ методами системного анализа, включающими обоснование и определение возможности использования методов многокритериальной оптимизации, анализа и принятия решений; разработку системы моделей поступления и потенциала ВИЭ с учетом особенностей технологии преобразования энергии.

Выполнен синтез методики выбора и оценки критериев эффективности энергетических систем с ВИЭ.

Разработана методология вовлечения ВИЭ в энергобаланс региона, реализующая оценку эффективности различных вариантов замещения энергии, получаемой от ВИЭ, на основе решения задачи оптимизации сочетания характеристик моделей источников возобновляемой энергии и современных технологий ее преобразования.

Разработан программный комплекс, реализующий предложенную методологию.

Список литературы

1. Газман В.Д. Лизинг для возобновляемой энергетики. Москва: Изд. дом Высшей школы экономики, 2019. 414 с.
2. О квалификации генерирующего объекта, функционирующего на основе использования возобновляемых источников энергии: Постановление Правительства Российской Федерации от 3 июня 2008 г. № 426 // СПС КонсультантПлюс. Москва, 2021.
3. О порядке ведения реестра выдачи и погашения сертификатов, подтверждающих объем производства электрической энергии на квалифицированных генерирующих объектах, функционирующих на основе использования возобновляемых источников энергии: Приказ Минэнерго Российской Федерации от 17.11.2008 N 187 // СПС КонсультантПлюс. Москва, 2021.
4. Об основных направлениях государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2035 года: Распоряжение Правительства Российской Федерации №1-р от 08.01.2009 // СПС КонсультантПлюс. Москва, 2021.
5. О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации: Указ Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. N 642 // СПС КонсультантПлюс. Москва, 2021.
6. Об утверждении Доктрины энергетической безопасности Российской Федерации: Указ Президента Российской Федерации от 13 мая 2019 г. N 216 // СПС КонсультантПлюс. Москва, 2021.
7. О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации: Указ Президента Российской Федерации от 2 июля 2021 г. N 400 // СПС КонсультантПлюс. Москва, 2021.
8. О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года: Указ Президента Российской Федерации от 21 июля 2020 г. N 474 // СПС КонсультантПлюс. Москва, 2021.
9. О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики: Указ президента Российской Федерации от 4 июня 2008 г. № 889 // СПС КонсультантПлюс. Москва, 2021.
10. О сокращении выбросов парниковых газов: Указ Президента Российской Федерации от 4 ноября 2020 г. N 666 // СПС КонсультантПлюс. Москва, 2021.
11. О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года: Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. N 204 // СПС КонсультантПлюс. Москва, 2021.
12. О мерах по реализации государственной научно-технической политики в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений: Указ Президента Российской Федерации от 8 февраля 2021 г. N 76 // СПС КонсультантПлюс. Москва, 2021.
13. Об электроэнергетике: Федеральный закон Российской Федерации от 26 марта 2003 г. N 35-ФЗ: [редакция от 11.06.2021] (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.07.2021) // СПС КонсультантПлюс. Москва, 2021.

14. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с осуществлением мер по реформированию Единой энергетической системы России: Федеральный закон Российской Федерации от 4 ноября 2007 г. № 250-ФЗ // СПС КонсультантПлюс. Москва, 2021.

15. Максимов А.Г. ВИЭ 2.0: Новая программа развития «ЗЕЛеной» энергетики в России // Энергетическая политика. 2020. № 11 (153). С. 22–27.

16. Симанков В.С. Автоматизация системных исследований: монография / Техн. ун-т КубГТУ. Краснодар, 2002. 376 с.

17. Бучацкий П.Ю. Перспективные технологии преобразования возобновляемой энергии // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер.: Естественно-математические и технические науки. 2012. Вып. 4 (110). С. 210–216. URL: <http://vestnik.adygnet.ru>

18. Симанков В.С., Бучацкий П.Ю. Оценка эффективности вовлечения нетрадиционных возобновляемых источников энергии в энергобаланс региона // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер.: Естественно-математические и технические науки. 2012. Вып. 2 (101). С. 123–132. URL: <http://vestnik.adygnet.ru>

19. Симанков В.С., Бучацкий П.Ю. Комплекс математических моделей возобновляемой энергии для перспективной оценки ее потенциала // Осенние математические чтения в Адыгее: материалы III Междунар. науч. конф. Майкоп, 2019. С. 122–124.

20. Бучацкий П.Ю. Разработка методов анализа и синтеза энергетических систем с нетрадиционными возобновляемыми источниками энергии: дис. ... канд. техн. наук. Краснодар, 2013. 188 с.

21. Симанков В.С., Бучацкий П.Ю., Шопин А.В. Моделирующий комплекс поступления энергии для оперативного управления автономными фотоветроэнергетическими системами // Труды физического общества Республики Адыгея. 2002. № 7. С. 13–21.

22. Бучацкий П.Ю. Разработка методов анализа и синтеза энергетических систем с нетрадиционными возобновляемыми источниками энергии: автореферат дис. ... канд. тех. наук. Краснодар, 2013. 24 с.

23. Бучацкий П.Ю., Мугу А.А. Обзор топливных элементов // Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий: материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. Ч. 1. Майкоп, 2021. С. 49–53.

24. Юдаев И.В., Даус Ю.В., Гамага В.В. Возобновляемые источники энергии: учебник. Санкт-Петербург: Лань, 2020. 328 с.

25. Программный комплекс оценки эффективности вариантов вовлечения нетрадиционных возобновляемых источников энергии в энергобаланс региона («СИБУРЭН-ККА 1.0»): свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013660038 / П.Ю. Бучацкий, В.В. Бучацкая, В.С. Симанков, А.В. Шопин.

26. Программный модуль оценки возможного вовлечения нетрадиционных возобновляемых источников энергии в энергосистему индивидуального потребителя “APPRE 1.0”: свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2018612422 / С.В. Теплоухов, В.С. Симанков, П.Ю. Бучацкий, В.В. Бучацкая, А.В. Шопин.

27. Симанков В.С., Бучацкий П.Ю. Программный модуль определения возможных объемов вовлечения возобновляемой энергии в региональный энергобаланс // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер.: Естественно-математические и технические науки. 2013. Вып. 1 (116). С. 105–111. URL: <http://vestnik.adygnet.ru>

28. Buchatskiy P.Y., Shopin A.V., Simankov V.S. Approach to managing an autonomous energy complex with renewable energy sources based on fuzzy models // Proceedings – 2019. International Russian Automation Conference RusAutoCon. Sochi, 2019. P. 8867728.

29. Simankov V.S., Buchatskiy P.Y. Methodological basis for assessing effectiveness of involvement of renewable energy in regional energy balance // 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2019. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. P. 8742922.

30. Бучацкий П.Ю., Шопин А.В. Модернизация системы электро- и теплоснабжения автономного потребителя с использованием возобновляемых источников энергии // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер.: Естественно-математические и технические науки. 2019. Вып. 1 (236). С. 88–92. URL: <http://vestnik.adygnet.ru>

31. Симанков В.С., Бучацкий П.Ю., Шопин А.В. Подход к реализации эффективного автономного энергокомплекса с возобновляемыми источниками энергии // Дистанционные образовательные технологии: материалы III Всерос. науч.-практ. конф. Ялта, 2018. С. 243–246.

References

1. Gazman V.D. Renewable energy leasing. Moscow: Publishing House of the Higher School of Economics, 2019. 414 p.
2. On the qualification of a generating facility operating on the basis of the use of renewable energy sources: Resolution of the Government of the Russian Federation dated June 3, 2008 No. 426 // SPS ConsultantPlus. Moscow, 2021.
3. On the procedure for maintaining the register for the issuance and redemption of certificates confirming the volume of electricity production at qualified generating facilities operating on the basis of the use of renewable energy sources: Order of the Ministry of Energy of the Russian Federation dated 17.11.2008 N 187 // SPS ConsultantPlus. Moscow, 2021.
4. On the main directions of state policy in the field of increasing the energy efficiency of the electric power industry based on the use of renewable energy sources for the period up to 2035: Order of the Government of the Russian Federation No. 1-r dated 08.01.2009 // SPS ConsultantPlus. Moscow, 2021.
5. On the Strategy of Scientific and Technological Development of the Russian Federation: Decree of the President of the Russian Federation of December 1, 2016 N 642 // SPS ConsultantPlus. Moscow, 2021.
- 6 On the approval of the Doctrine of energy security of the Russian Federation: Decree of the President of the Russian Federation of May 13, 2019 N 216 // SPS ConsultantPlus. Moscow, 2021.
7. On the National Security Strategy of the Russian Federation: Decree of the President of the Russian Federation of July 2, 2021 N 400 // SPS ConsultantPlus. Moscow, 2021.
8. On the national development goals of the Russian Federation for the period up to 2030: Decree of the President of the Russian Federation of July 21, 2020 N 474 // SPS ConsultantPlus. Moscow, 2021.
9. On some measures to improve the energy and environmental efficiency of the Russian economy: Decree of the President of the Russian Federation of June 4, 2008 No. 889 // SPS ConsultantPlus. Moscow, 2021.
10. On the reduction of greenhouse gas emissions: Decree of the President of the Russian Federation of November 4, 2020 N 666 // SPS ConsultantPlus. Moscow, 2021.
11. On the national goals and strategic objectives of the development of the Russian Federation for the period up to 2024: Decree of the President of the Russian Federation of May 7, 2018 N 204 // SPS ConsultantPlus. Moscow, 2021.
12. On measures to implement the state scientific and technical policy in the field of environmental development of the Russian Federation and climate change: Decree of the President of the Russian Federation of February 8, 2021 N 76 // SPS ConsultantPlus. Moscow, 2021.
13. On the electric power industry: Federal Law of the Russian Federation of March 26, 2003 N 35-FZ: [as amended on 11.06.2021] (as amended and supplemented, entered into force on 01.07.2021) // SPS ConsultantPlus. Moscow, 2021.
14. On amendments to certain legislative acts of the Russian Federation in connection with the implementation of measures to reform the Unified Energy System of Russia: Federal Law of the Russian Federation of November 4, 2007 No. 250-FZ // SPS ConsultantPlus. Moscow, 2021.
15. Maksimov A.G. VIE 2.0: A New Program for the Development of GREEN Energy in Russia // Energy Policy. 2020. No. 11 (153). P. 22–27.
16. Simankov V.S. Automation of system research: monograph / Tech. University KubGTU. Krasnodar, 2002. 376 p.
17. Buchatskiy P.Yu. Promising technologies of renewable energy transformation // The Bulletin of the Adyghe State University. Ser.: Natural-Mathematical and Technical Sciences. 2012. Iss. 4 (110). P. 210–216. URL: <http://vestnik.adygnet.ru>
18. Simankov V.S., Buchatskiy P.Yu. Efficiency assessment of involvement of nonconventional renewable energy sources in energy balance of the region // The Bulletin of the Adyghe State University. Ser.: Natural-Mathematical and Technical Sciences. 2012. Iss. 2 (101). P. 123–132. URL: <http://vestnik.adygnet.ru>
19. Simankov V.S., Buchatskiy P.Yu. Complex of mathematical models of renewable energy for a prospective assessment of its potential // Autumn mathematical readings in Adyghea: materials of the 3rd Intern. scient. conf. Maikop, 2019. P. 122–124.

20. Buchatsky P.Yu. Development of methods for analysis and synthesis of energy systems with non-traditional renewable energy sources: Diss. for the Cand. of Technology degree. Krasnodar, 2013. 188 p.

21. Simankov V.S., Buchatskiy P.Yu., Shopin A.V. Modeling complex of energy supply for operational control of autonomous photo-wind power systems // Proceedings of the Physical Society of the Republic of Adygheya. 2002. No. 7. P. 13–21.

22. Buchatsky P.Yu. Development of methods for analysis and synthesis of energy systems with non-traditional renewable energy sources: Diss. abstract for the Cand. of Technology degree. Krasnodar, 2013. 24 p.

23. Buchatskiy P.Yu., Mugu A.A. Fuel cell overview // Fundamental and applied aspects of geology, geophysics and geoecology using modern information technologies: materials of the 4th Intern. Scient. and pract. conf. Part 1. Maikop, 2021. P. 49–53.

24. Yudaev I.V., Daus Yu.V., Gamaga V.V. Renewable energy sources: a textbook. St. Petersburg: Lan, 2020. 328 p.

25. A software package for assessing the effectiveness of options for involving non-traditional renewable energy sources in the energy balance of the region (SIBUREN-KKA 1.0): certificate of state registration of the computer program No. 2013660038 / P.Yu. Buchatsky, V.V. Buchatskaya, V.S. Simankov, A.V. Shopin.

26. Software module for assessing the possible involvement of non-traditional renewable energy sources in the energy system of an individual consumer “APPRE 1.0”: certificate of registration of a computer program No. 2018612422 / S.V. Teploukhov, V.S. Simankov, P.Yu. Buchatsky, V.V. Buchatskaya, A.V. Shopin.

27. Simankov V.S., Buchatskiy P.Yu. The program module to determine the possible volume of renewable energy involved in a regional energy balance // The Bulletin of the Adyghe State University. Ser.: Natural-Mathematical and Technical Sciences. 2013. Iss. 1 (116). P. 105–111. URL: <http://vestnik.adygnet.ru>

28. Buchatskiy P.Y., Shopin A.V., Simankov V.S. Approach to managing an autonomous energy complex with renewable energy sources based on fuzzy models // Proceedings – 2019. International Russian Automation Conference RusAutoCon. Sochi, 2019. P. 8867728.

29. Simankov V.S., Buchatskiy P.Y. Methodological basis for assessing effectiveness of involvement of renewable energy in regional energy balance // 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2019. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. P. 8742922.

30. Buchatsky P.Yu., Shopin A.V. Modernization of power and heat supply system of individual consumer with the use of renewable energy sources // The Bulletin of the Adyghe State University. Ser.: Natural-Mathematical and Technical Sciences. 2019. Iss. 1 (236). P. 88–92. URL: <http://vestnik.adygnet.ru>

31. Simankov V.S., Buchatskiy P.Yu., Shopin A.V. An approach to the implementation of an effective autonomous power complex with renewable energy sources // Distance educational technologies: materials of the 3rd Russian scient. and pract. conf. Yalta, 2018. P. 243–246.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 11.08.2021; одобрена после рецензирования 6.09.2021; принята к публикации 7.09.2021.

The article was submitted 11.08.2021; approved after reviewing 6.09.2021; accepted for publication 7.09.2021.