

Анализ факторов, влияющих на развитие возобновляемых источников энергии для энергообеспечения удаленных потребителей**Analysis of the factors influencing development of renewables for power supply to remote consumers**

УДК 338.49

Ю. А. Назарова, Российский университет дружбы народов (Москва, Россия)**Yu. A. Nazarova**, Peoples' Friendship University of Russia (Moscow, Russia)**О. А. Горюнов**, Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) им. И. М. Губкина (Москва, Россия)**O. A. Gorunov**, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University) (Moscow, Russia)**С. А. Жильцов**, Российский университет дружбы народов (Москва, Россия)**S. A. Zhiltsov**, Peoples' Friendship University of Russia (Moscow, Russia)

Актуальность исследования факторов развития возобновляемых источников энергии для энергообеспечения удаленных потребителей объясняется поиском эффективных рычагов их стимулирования.

Новизна результатов исследования состоит в разработке модели оценки влияния факторов на развитие инновационного энергоснабжения на основе метода линейной регрессии и корреляционного анализа путем использования однофакторной модели. В этой модели в качестве результирующей переменной предлагается использовать удельный вес потребления возобновляемой энергии в общем объеме потребления. За независимую переменную авторы предлагают взять объем инвестиций в возобновляемые источники энергии. Источником данных о значениях факторной переменной является база данных Всемирного банка. Базируясь на статистических данных, авторы описали уравнением линейной регрессии экономико-математическую модель влияния объема инвестиций в инновационные источники энергоснабжения на удельный вес потребляемой энергии.

Материалы статьи представляют теоретическую ценность для научных исследований в области управления технологическими инновациями в возобновляемой энергетике. Предложенная авторами статьи экономико-математическая модель полезна для принятия инвестиционных решений по инновационному энергообеспечению удаленных потребителей на уровне государства и бизнеса.

Ключевые слова: удаленные потребители; изолированные энергосистемы, возобновляемые

источники энергии; экономическая эффективность; факторы развития.

Relevance of research of development factors of renewable energy sources (RES) for power supply of remote consumers is explained by search of effective leverage of their stimulation.

The novelty of the research results consists in the model development for assessing the factors impact on the development of innovative energy supply based on the method of linear regression and correlation analysis using a single – factor model. In the model, it is proposed to use the share of consumption of renewable energy in the total consumption as a resultant variable. For an independent variable, the authors propose to take the volume of investments in renewable energy sources. The source of data on the values of the factor variable is the World Bank database. Based on statistical data, the authors described the economic and mathematical model of the impact of investments in innovative energy sources on the share of consumed energy by the linear regression equation.

The materials of the article are of theoretical value for scientific research in the field of management of technological innovations in renewable energy. The economic and mathematical model proposed by the authors of the article is useful for making investment decisions on innovative energy supply to remote consumers at the state and business level.

Keywords: remote consumers; isolated power systems, renewable energy sources; economic efficiency; development factors.

Введение

Рынок технологий энергоснабжения на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) является наиболее быстрорастущим сегментом энергетики. В мировом объеме общего потребления энергии доля современных технологий возобновляемой энергетики составляет 10,4 %. Установленная мощность объектов ВИЭ по состоянию на 2017 год достигла 1081 ГВт без учета крупных гидроэлектростанций. С 2014 года прирост превысил 400 ГВт, или 38 % от текущей установленной мощности.

В 176 странах мира законодательно закреплены цели в области возобновляемой энергетики и принята нормативно-правовая база. При этом в 57 странах целью является 100 % обеспечение за счет возобновляемых источников.

Объем общемировых инвестиций в инновационные технологии на ВИЭ за последние 10 лет увеличился почти в 2 раза (с 158 млрд долл. в 2007 г. до 278 млрд долл. в 2017 г.) [25].

Развитие рынка происходит несмотря на влияние целого ряда дестимулирующих факторов: падение мировых цен на все виды ископаемого топлива, субсидирование традиционной энергетики, усиление законодательной и политической нестабильности, наличие правовых и финансовых ограничений, интеграция растущих возобновляемых генерирующих мощностей.

Последний из указанных факторов актуален для стран — мировых лидеров в производстве технологий энергоснабжения на ВИЭ, таких как Соединенные Штаты Америки (США) и государства Западной Европы (централизованная модель распределения ВИЭ-генерации). А также для Китая, где в отличие от США и Европы основными потребителями возобновляемой энергии являются домашние хозяйства, в то время как потребности промышленности обеспечивает традиционная энергетика (децентрализованная модель распределения).

Еще одна группа стран, в которых технологии энергоснабжения на базе ВИЭ используются в рамках децентрализованной модели, представлена развивающимися экономиками с большим дефицитом энергоресурсов. В настоящее время 1,2 млрд чел. (17 % населения планеты) не имеют доступа к электрическим сетям, преимущественно в Азиатско-Тихоокеанском регионе и в Африке к югу от Сахары [15].

Роль распределенного производства возобновляемой энергии (РВЭ) в предоставлении услуг энергоснабжения этим категориям населения ежегодно усиливается. Развитие технологий, повышение осведомленности о негативных последствиях вырубке лесов и рост государственной поддержки позволили улучшить ситуацию: в 2015 г. 28 млн домашних хозяйств использовали экологически чистые кухонные печи. Мировой объем продаж фотогальванических солнечных панелей для децентрализованной генерации электричества в I полугодии 2015 г. составил 44 млн шт., или 300 млн. долл. В настоящее время около 70 стран установили систему децентрализованных солнечных панелей или утвердили программы, направленные на поддержку строительства солнечных фотоэлектрических систем. Именно такие мини — сети на основе ВИЭ обеспечивают энергетические потребности удаленных потребителей в Бангладеш, Камбодже, Китае, Индии, Марокко и Мали [16].

Энергообеспечение удаленных потребителей в России

В России значительная часть территории, где располагаются важные транспортные коридоры, приграничные и прибрежные районы, перспективные районы добычи полезных ископаемых, территории Крайнего Севера и Дальнего Востока с населением 20 миллионов человек не имеют централизованного электро- и теплоснабжения.

К первой неценовой зоне относятся Архангельская, Калининградская области, Республика Коми, ко второй неценовой зоне — территория Дальнего Востока (Амурская область, Приморский и Хабаровский края, Южно-Якутский район Республики Саха (Якутия), Еврейская автономная область). Изолированные энергосистемы: Камчатский край, Магаданская и Сахалинская области, Чукотский автономный округ, Республика Саха (Якутия). В изолированных энергосистемах отсутствует технологическое соединение с Единой энергетической системой (ЕЭС) России. Особенность торговли электроэнергией в неценовых и изолированных зонах — отсутствие конкурентного рынка, регулируемые цены и ежегодные субсидии [4].

Проблема обеспечения электроэнергией изолированных энергосистем стоит достаточ-

но остро. Структура топливного баланса таких регионов характеризуется высокой долей использования дизельного топлива (около 98 %), что является причиной высокой стоимости вырабатываемой электроэнергии, превосходящей среднероссийский уровень в несколько раз. Вместе с этим завоз топлива и материально-технических ресурсов довольно затруднителен в связи со сложной логистической схемой, а значительные расстояния не позволяют обеспечить стопроцентный охват централизованным электроснабжением. В малонаселенных местностях отсутствие крупных потребителей приводит к нецелесообразности строительства источников генерации большой установленной мощности.

Ключевым решением проблемы электроэнергетического снабжения удаленных регионов выступает строительство станций средней мощности на основе использования ВИЭ. В перспективе это позволит значительно снизить себестоимость электроэнергии и сократить издержки на транспортировку топлива. Вопросы использования ВИЭ для удаленных территорий рассматриваются в работах П. П. Безруких [26], В. В. Елистратова [27], А. Е. Копылова [28], А. В. Кулакова [29], О. С. Попель [7].

Основными целями стимулирования использования ВИЭ в изолированных энергосистемах являются:

- создание экономических стимулов для развития на удаленных территориях РФ производства генерирующего оборудования, применяемого в системах энергоснабжения в изолированных территориальных электроэнергетических системах;
- существенное сокращение «северного завоза» дизельного топлива;
- обеспечение надежного энергоснабжения потребителей;
- сохранение природы [5].

Единственным документом, который формирует некоторые основы механизмов поддержки развития ВИЭ в изолированных энергосистемах, является Постановление Правительства Российской Федерации (РФ) от 29 декабря 2011 года № 1178.

Инвестиционные стимулы для проектов ВИЭ в ИЭС создаются путем обязательной покупки энергоснабжающей организацией объемов «зеленой» электроэнергии, в стоимость которой включены инвестиционные и эксплуатацион-

ные затраты, включая определенную норму доходности (с 2017 года — 12 %). Долгосрочные тарифы устанавливаются на 15 лет [6].

Для генерирующих объектов предусматривается приоритетная загрузка генерирующего объекта ВИЭ в системе оперативно-диспетчерского управления.

При этом для объектов ВИЭ, работающих в изолированных энергосистемах, отсутствуют установленные предельные уровни капитальных и эксплуатационных затрат, коэффициента использования установленной мощности (КИУМ) и целевые требования по локализации оборудования.

Согласно оценке Министерства энергетики, потенциал развития ВИЭ до 2020 года в изолированных энергосистемах составляет до 1000 МВт (в основном проекты солнечной и ветроэнергетики).

В настоящее время в научной среде не сложилось единого мнения относительно состава и систематизации факторов, влияющих на развитие ВИЭ для энергоснабжения удаленных потребителей.

Следовательно, исследование факторов, влияющих на использование возможностей альтернативной энергетики в обеспечении удаленных потребителей, в том числе на основе систематизации и количественной оценки, является полезным для принятия инвестиционных решений. Все это обосновывает важность темы исследования, отраженного в названии данной статьи.

Методология исследования

Изучение публикаций, посвященных исследованию влияния факторов на эффективность энергоснабжения за счет ВИЭ позволяет сделать вывод о том, что наибольшее распространение получили одно- и многокритериальные модели.

Традиционные однокритериальные модели оценки эффективности просты в использовании, однако не учитывают всю сложность среды функционирования инновационных систем энергоснабжения [9]. При этом преимуществом использования однокритериальных моделей является возможность снижения уровня неопределенности рассматриваемых факторов.

Многокритериальные модели оценки эффективности, напротив, обеспечивают гибкие

научно-технические методы и инструменты для обработки и сведения воедино широкого диапазона факторов, которые выражены переменными различных типов, и, следовательно, создают достоверную информационную базу для надежного принятия решения в области инновационной энергетики [12] и позволяют учитывать целый ряд часто противоречивых аспектов вследствие повышения сложности социальных, технологических, экологических и экономических факторов развития инновационного энергоснабжения [10].

Многокритериальные модели принятия решений (MCDM) являются одним из направлений теории исследования операций и хорошо известны в области науки о принятии решений. Эти методы позволяют обрабатывать количественные и качественные критерии, а также анализировать возможные конфликты между критериями и лицами, принимающими решения [8]. Анализ существующих классификаций позволяет выделить среди них две категории: методы многоцелевого принятия решений (MODM) и многофакторного принятия решений (MADM) [24, 32].

В процессе определения приоритетности факторов инновационного энергоснабжения при использовании экспертных оценок существует вероятность конфликта мнений. Окончательный выбор «наилучшего» из гипотетических вариантов осуществляется в ходе дискуссии, тогда как математические модели служат лишь вспомогательным инструментом оценки эффективности.

Изучение и обобщение научных публикаций, посвященных исследованию влияния факторов на развитие инновационного энергоснабжения, позволяет выделить четыре основные области применения моделей оценки:

- оценку факторов на стадии планирования и разработки государственной политики в области инновационных технологий энергоснабжения [17; 19—21];
- оценку факторов производства и потребления определенного вида возобновляемой энергии [20, 21, 24];
- оценку факторов реализации инновационных технологий (оценка эффективности проекта) [18, 22, 23];
- оценку факторов развития энергоснабжения на основе ВИЭ с точки зрения влияния на окружающую среду, экологию и климат [29, 30].

Несмотря на то, что себестоимость является ключевым фактором, ограничивающим использование ВИЭ, специализированные исследования факторов, оказывающих влияние на ее формирование, недостаточны и используют ограниченные объемы данных. Экономика ВИЭ рассматривается в работе Edenhofer, Hirth и Kropf [14]. Исследование Cicea и Marinescu [11] посвящено вопросам эффективности инвестиций в ВИЭ с точки зрения влияния на окружающую среду. Исследованиям в области экономики ВИЭ посвящены работы таких ученых как, Dvorak и Martinat [13], Savinoia M, Manzinib R, Della Selva V et al. [31]. Оценка объема инвестиций в развитие ВИЭ для РФ представлено в исследовании Nazarova, Sopilko et al. [6].

В то время как общемировые тенденции говорят о снижении себестоимости электроэнергии, вырабатываемой на объектах ВИЭ, необходимость локализации производства оборудования, учитывающего климатические и логистические особенности России, увеличивает стоимость энергии возобновляемых источников [6]. Еще один существенный фактор, влияющий на развитие ВИЭ в России — значительные запасы полезных ископаемых, что необходимо принимать во внимание даже для изолированных энергосистем. Исходя из анализа существующей литературы, можно сделать вывод об актуальности исследования экономических факторов, определяющих целесообразность применения ВИЭ для удаленных территорий России с учетом климатических и логистических особенностей рассматриваемых территорий, а также близкого расположения традиционных источников.

Классификация факторов, влияющих на использование ВИЭ для энергообеспечения удаленных потребителей

В настоящее время в научной среде не сложилось единого мнения относительно состава и систематизации факторов, влияющих на развитие инновационного энергоснабжения удаленных потребителей. На наш взгляд, наиболее важные факторы, влияющие на развитие децентрализованных систем энергообеспечения на ВИЭ, можно классифицировать следующим образом.

1. Природно-климатические факторы:

— энергетический потенциал источника энергии, планируемого к использованию для энергоснабжения удаленных потребителей;

— климатическая зона, в которой расположены потребители;

— сила разрушительного воздействия природных факторов.

2. Технические факторы:

— потребность в электрической и тепловой энергии;

— расстояние от промышленного (традиционного) источника энергии до потребителей;

— расстояние от альтернативного (инновационного) источника энергии до потребителей;

— коэффициент полезного действия энергоустановок альтернативного (инновационного) источника энергии;

— номенклатура инновационных энергоустановок.

3. Законодательные и организационные факторы:

— наличие законодательных возможностей по установлению «зеленого» тарифа

— возможности по получению государственных субсидий

— наличие законодательно закрепленных налоговых льгот

— распределение грантового финансирования на проекты в области возобновляемой энергетики.

4. Политические факторы:

— стремление правительств внедрять современные разработки в функционирование энергетического сектора;

— появление лоббистов ВИЭ.

5. Финансовые факторы:

— объем инвестиций в ВИЭ;

— доступность кредитных средств и стоимость заемных денег;

— размер инвестиционных скидок всем участникам цикла использования объектов инновационного энергоснабжения удаленных потребителей (от разработки до эксплуатации).

6. Факторы квалификации:

— обеспеченность трудовыми ресурсами;

— количество научных трудов по тематике инновационного энергоснабжения удаленных потребителей;

— количество патентов на изобретение или полезную модель, применимых для инно-

вационного энергоснабжения удаленных потребителей;

— количество выпускников вузов по специальностям, необходимым для работы компаний в сфере инновационного энергоснабжения удаленных потребителей.

7. Факторы конкуренции:

— количество участников рынка инновационного энергоснабжения удаленных потребителей;

— доля самой крупной компании на рынке инновационного энергоснабжения удаленных потребителей;

— индекс Розенблюта для рынка инновационного энергоснабжения удаленных потребителей.

8. Экологические факторы:

— стоимость выброса 1 тонны углекислого газа (CO_2);

— объем вредных выбросов от промышленных (традиционных) энергетических установок;

— количество мероприятий природоохранных организаций против развития промышленных (традиционных) энергетических установок.

9. Факторы надежности:

— количество потребителей, не обеспеченных по требуемой категории надежности электроснабжения от промышленных (традиционных) энергетических установок;

— объем энергии, не обеспеченной по требуемой категории надежности электроснабжения от промышленных (традиционных) энергетических установок.

10. Стоимость энергоресурсов:

— соотношение стоимости 1 кВт/ч энергии, получаемого от ВИЭ и 1 кВт/ч, вырабатываемого традиционными источниками энергии;

— объем потребления энергии;

— объем капитальных и эксплуатационных затрат в объекты ВИЭ;

— стабильность денежного потока, создаваемого объектом ВИЭ.

Десятая группа факторов имеет решающее значение для обеспечения глобальной конкурентоспособности технологий ВИЭ. Динамика мировых цен на технологические модули солнечных фотогальванических установок демонстрирует снижение на 68 % за период с 2010 по 2017 гг., на ветряные генераторы — на 20 %

[21], благодаря чему усиливается ценовая конкурентоспособность энергоустановок на возобновляемых источниках, что позволяет им активно завоевывать новые рынки. В России ценовая конкуренция наиболее заметна в секторе солнечной энергетики. По данным АО «АТС», плановая величина капитальных затрат на 1 кВт установленной мощности солнечной электростанции по результатам конкурсных отборов 2013 года составляла 111 273 руб./кВт (среднее значение по заявленным проектам). В 2018 году значение капитальных вложений снизилось до 80 721 руб./кВт. Если в 2013 году минимальные капитальные вложения были заявлены на уровне 108 502 руб./кВт, в 2018 по отдельным проектам значение снизилось до 58 984 руб./кВт.

В рамках рассмотрения десятой группы факторов авторами данной статьи была проведена предварительная оценка экономической эффективности развития ветроэнергетики для энергоснабжения потребителей удаленных территорий Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО). Целью проведенной оценки было определение эффективности ВИЭ-генерации по сравнению с существующими в регионе тарифами на электроэнергию.

Авторами произведены укрупненные расчеты по 23 поселкам, которые показали экономическую целесообразность реализации проектов в отдельных населенных пунктах при су-

ществующих тарифах. Исходными данными по тарифам являлась информация Департамента тарифной политики, энергетики и жилищно-коммунального комплекса Ямало-Ненецкого автономного округа.

В качестве технического решения был принят вариант установки ветрогенератора NPS 100 Arctic Turbine производителя Northern Power Systems, эксплуатирующийся в суровых климатических условиях, схожих с климатом ЯНАО. Капитальные вложения по проекту оценивались с учетом климатических и логистических особенностей удаленных территорий ЯНАО и составили 2900 долл./кВт.

Результаты расчетов показали эффективность ветрогенерации для рассматриваемых населенных пунктов при одноставочном тарифе на электроэнергию выше 20 руб./кВт·ч, что связано со значительными объемами инвестиций в строительство ветростанций на удаленных северных территориях.

Модель корреляционной зависимости между объемами инвестиций в ВИЭ и долей ВИЭ в общем объеме потребляемой энергии

Оценку степени влияния ранее описанных факторов на развитие инновационного энергоснабжения удаленных потребителей целесообразно проводить с использованием метода

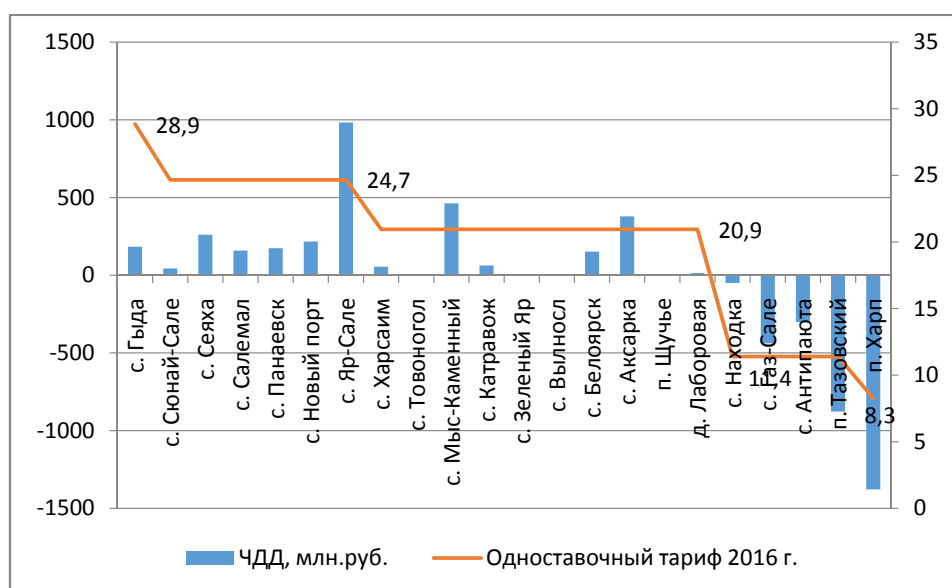


Рис. 1. Результаты расчетов эффективности строительства ветровых электростанций для населенных пунктов ЯНАО при тарифах 2016 года и ставке дисконтирования 15 %

Источник: составлено по расчетам авторов

линейной регрессии и корреляционного анализа однофакторной модели. В данных методах в качестве результирующей переменной принимается удельный вес потребления возобновляемой энергии в общем объеме потребления энергии, а в качестве независимой переменной — объем инвестиций в возобновляемые источники энергии.

Рассмотрим указанную модель на примере выборки, которая охватывает данные для 7 стран и регионов (США, Китай, Индия, Бразилия, Европа и СНГ, Америка (кроме Бразилии и США), Ближний Восток и Африка) за период с 2004 по 2012 годы. Указанные территории включают большую часть государств мира. Повышение уровня территориальной детализации выборки затруднено ограниченным доступом к данным. Источником данных о значениях факторной переменной является база данных Всемирного банка [26], которая включает информацию до 2012 года. Данные об объеме инвестиций в возобновляемые источники энергии взяты из годового отчета «Глобальные тенденции инвестирования в возобновляемые источники энергии 2016» Франкфуртской школы — центра Программы Организации Объединенных Наций (ООН) по окружающей среде [16]. В данном отчете, авторы которого ссылаются на агентство Bloomberg New Energy Finance, информация об объемах инвестиций в ВИЭ представлена с 2004 по 2015 гг., но агрегирована по следующим группам стран и отдельным государствам: Европа и Содружество Независимых Государств (СНГ); Китай, США, Америка (кроме Бразилии и США), Ближний Восток и Африка, Бразилия, Индия.

Исходя из этих условий, страновые данные Всемирного банка о потреблении возобновляемой энергии были нами агрегированы, что-

бы привести их в сопоставимый вид с данными об объемах инвестиций. Для этого были найдены средние значения для удельного веса потребления возобновляемой энергии в общем объеме потребления энергии:

— для региона Ближний Восток и Африка — по Ближнему Востоку, Северной Африке и Африке к югу от Сахары,

— для региона Европа и СНГ — по всем странам СНГ и Европейского союза (ЕС),

— для региона Америка (кроме Бразилии и США) — по Канаде, странам Карибского бассейна и Латинской Америке, исключая Бразилию.

Необходимость приведения в соответствие данных для Китая, Индии и США отсутствовала.

Результаты корреляционного анализа, проведенного для каждого из регионов для периода с 2004 по 2012 гг., свидетельствуют о наличии сильной корреляционной связи между объемом инвестиций в ВИЭ и долей ВИЭ в общем объеме потребляемой энергии в США, Европе и СНГ (значения коэффициентов корреляции составили 0,851 и 0,854 соответственно). Положительная, но менее сильная корреляционная связь выявлена для региона Ближнего Востока и Африки (0,233). Влияние фактора инвестиций на удельный вес потребления ВИЭ в Бразилии, Китае, Индии и Америке (кроме Бразилии и США) является отрицательным (– 0,761, –0,981, –0,762 и –0,501 соответственно) (рис. 2—9).

Зависимости между объемами инвестиций в ВИЭ и долей ВИЭ в общем объеме потребляемой энергии имеют разнонаправленный характер для различных стран мира, что обусловлено политическими, технологическими и климатическими особенностями этих стран. Учет территориальной специфики регионов является необходимым условием для принятия реше-

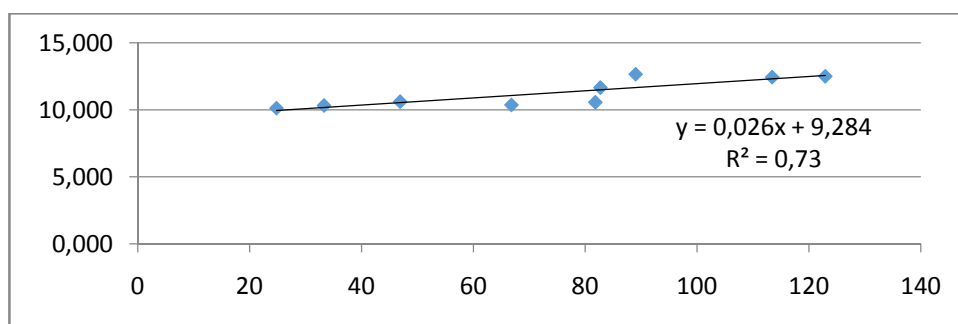


Рис. 2. Модель корреляционной зависимости между объемами инвестиций в ВИЭ и долей ВИЭ в общем объеме потребляемой энергии в Европе и странах СНГ

Источник: составлено по расчетам авторов

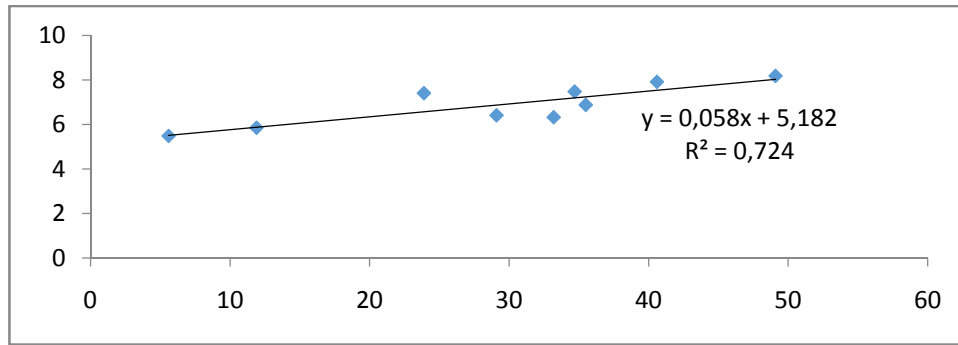


Рис. 3. Модель корреляционной зависимости между объемами инвестиций в ВИЭ и долей ВИЭ в общем объеме потребляемой энергии в США

Источник: составлено по расчетам авторов

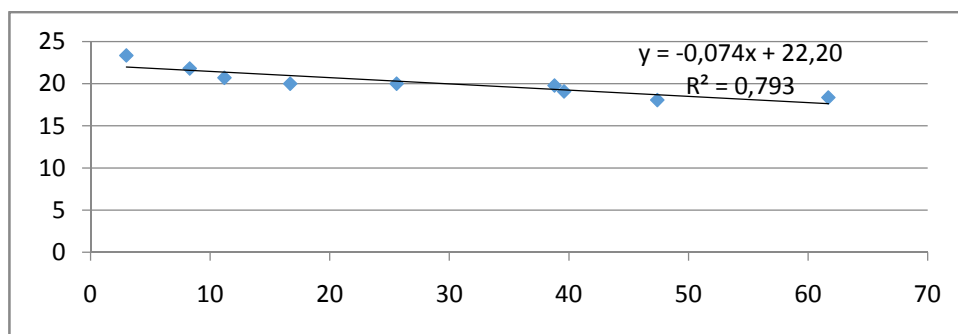


Рис. 4. Модель корреляционной зависимости между объемами инвестиций в ВИЭ и долей ВИЭ в общем объеме потребляемой энергии в Китае

Источник: составлено по расчетам авторов

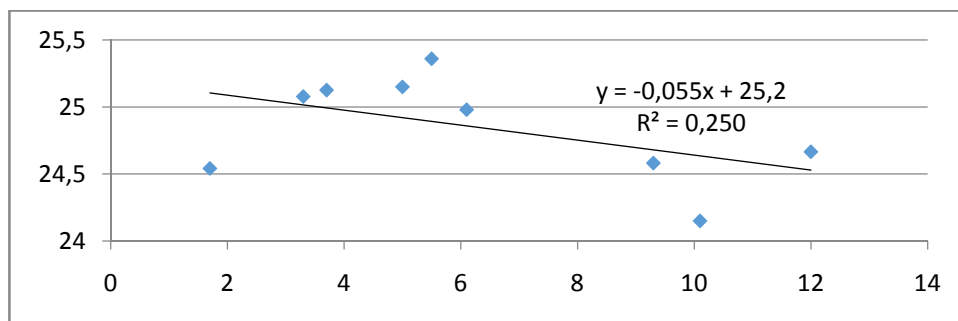


Рис. 5. Модель корреляционной зависимости между объемами инвестиций в ВИЭ и долей ВИЭ в общем объеме потребляемой энергии в Америке (кроме США и Бразилии)

Источник: составлено по расчетам авторов

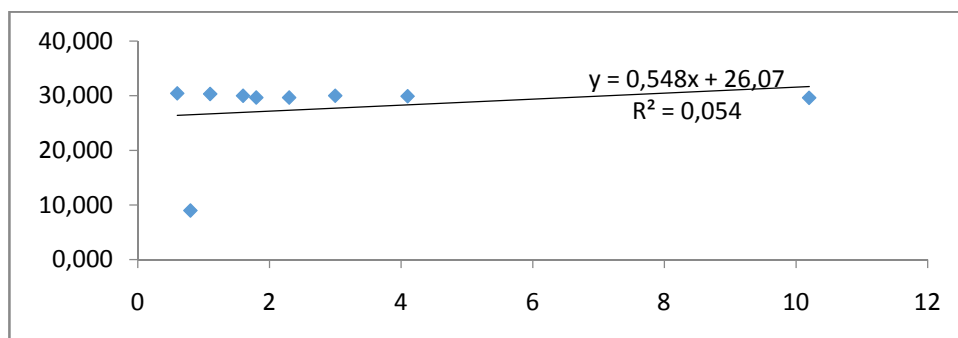


Рис. 6. Модель корреляционной зависимости между объемами инвестиций в ВИЭ и долей ВИЭ в общем объеме потребляемой энергии в Африке и на Ближнем Востоке

Источник: составлено по расчетам авторов

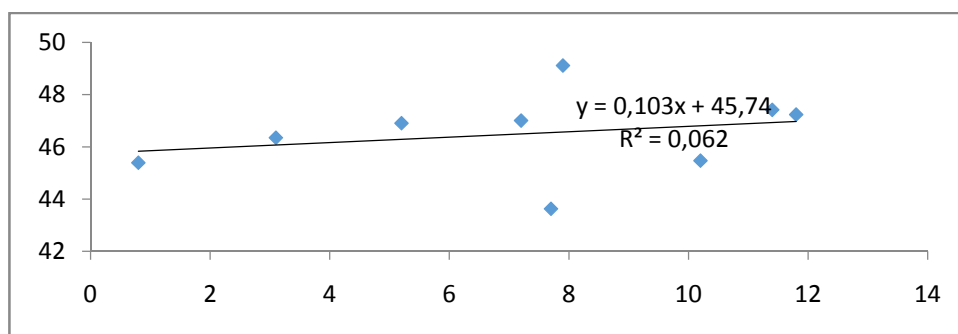


Рис. 7. Модель корреляционной зависимости между объемами инвестиций в ВИЭ и долей ВИЭ в общем объеме потребляемой энергии в Бразилии
Источник: составлено по расчетам авторов

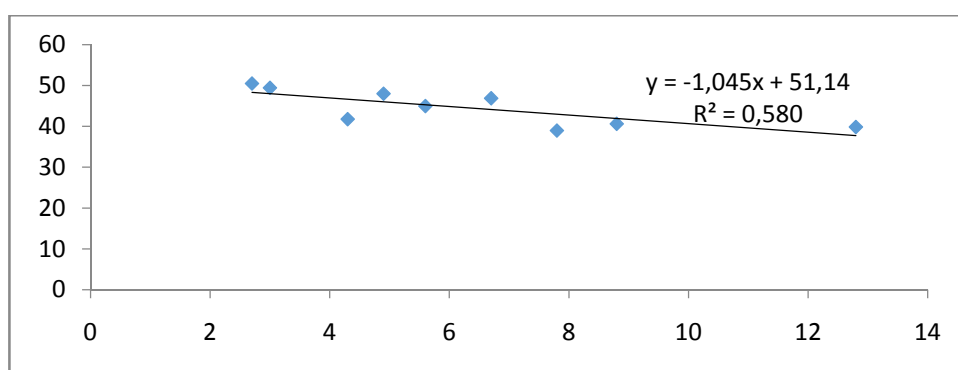


Рис. 8. Модель корреляционной зависимости между объемами инвестиций в ВИЭ и долей ВИЭ в общем объеме потребляемой энергии в Индии
Источник: составлено по расчетам авторов

ния о применении возобновляемых источников энергии для энергообеспечения удаленных потребителей.

Новизна результатов исследования состоит в разработке модели влияния объема инвестиций в инновационные источники энергоснабжения. Полученная в результате прове-

денного исследования модель влияния объема инвестиций в инновационные источники энергоснабжения на удельный вес потребляемой энергии, произведенной последними, имеет следующий вид (рис. 9):

$$y = -6,623 \ln(x) + 42,234, R^2 = 0,036. \quad (1)$$

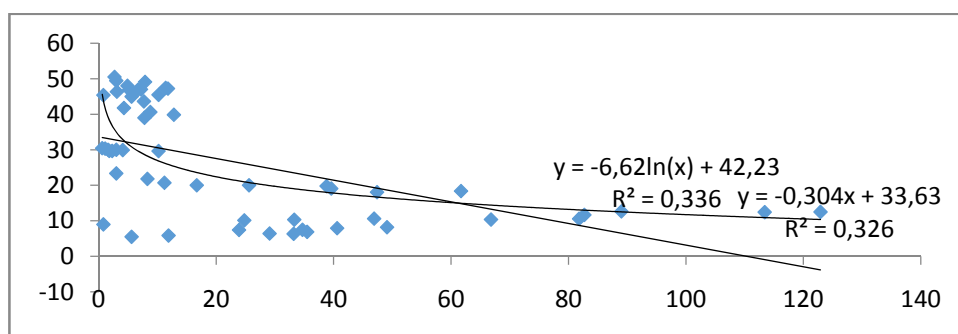


Рис. 9. Модель корреляционной зависимости между объемами инвестиций в ВИЭ и долей ВИЭ в общем объеме потребляемой энергии
Источник: составлено по расчетам авторов

Заключение

Таким образом, подводя итог, можно отметить, что до сих пор, несмотря на актуальность вопроса о стимулировании использования возможностей альтернативной энергетики для энергоснабжения удаленных территорий, многообразии влияющих на этот процесс факторов еще недостаточно изучено.

Предложенные авторами статьи методические подходы к систематизации и моделированию влияния факторов, определяющих развитие инновационного обеспечения удаленных потребителей, будут частично способствовать решению этих проблем.

Авторами статьи обосновано, что объем инвестиций в инновационные источники энергоснабжения влияет на удельный вес потребляемой энергии, произведенной последними. Для оценки такого влияния предложено использование однофакторной модели, созданной на основе метода линейной регрессии и корреляционного анализа данных стран, развивающих альтернативную энергетику: СНГ, США, Китая, Бразилии и Америки (кроме Бразилии).

Описанная в статье модель взаимосвязи удельного веса энергии, полученной на основе альтернативных источников в общем объеме электроснабжения альтернативной как показателя развития инновационного энергоснаб-

жения от объема инвестиций в инновационные источники энергоснабжения позволяет определить необходимый объем инвестиционных вложений при задаваемых параметрах замещения традиционного энергоснабжения альтернативными источниками. Результаты анализа взаимосвязи этих показателей свидетельствуют о наличии серьезных проблем в использовании средств на развитие нетрадиционной энергетики в ряде латиноамериканских стран и в Китае.

Анализ выделенных факторов применительно к российской действительности показал, что наибольшее влияние имеет себестоимость вырабатываемой электроэнергии и существующая нормативно-правовая база отрасли. Так, для удаленных северных территорий экономически целесообразно развивать ветрогенерацию при региональных тарифах более 20 руб./кВт·ч.

Понимание влияния факторов инновационного энергообеспечения удаленных потребителей и возможность его количественной и качественной оценки позволят на национальном и отраслевом уровнях улучшить качество управления технологическими инновациями. Это должно ускорить замещение традиционных источников энергообеспечения удаленных потребителей более качественными, дешевыми и экологичными инновационными источниками.

Список литературы

1. Безруких П. П., Елистратов В. В. Проблемы, решения и опыт внедрения гибридных ветроэлектрических комплексов для автономного энергоснабжения в Арктике // Арктика: настоящее и будущее: материалы VII Международного форума. СПб., 2017. С. 160.
2. Елистратов В. В., Большев А. С., Панфилов А. А., Мегрецкий К. В., Купреев В. В. Научно-технические проблемы создания ветроэлектрических станций на шельфе Арктики // Альтернативная энергетика и экология: международный научный журнал. 2014. № 11. С. 36—48.
3. Копылов А. Е. Экономика ВИЭ. Екатеринбург: Издательские решения, 2017. 590 с.
4. Кулаков А. В., Назарова Ю. А. Инвестиционная привлекательность строительства объектов малой распределенной генерации // Energy Fresh. 2014. № 1 (7). С. 76—81.
5. Назарова Ю. А., Сопилко Н. Ю., Болотова Р. Ш., Щербакова Н. С., Алексеенко В. Б. Увеличение социального значения возобновляемой энергии для российской промышленности // International Journal of Energy Economics and Policy. 2017. Vol. № 7(5). Pp. 1—8.
6. Назарова Ю. А., Сопилко Н. Ю., Орлова А. Ф., Болотова Р. Ш., Гавловская Г. В. Оценка перспектив развития возобновляемых источников энергии для России // International Journal of Energy Economics and Policy. 2017. Vol. 7(3). Pp. 1—6.
7. Попель О. С. Использование возобновляемых источников энергии для энергоснабжения потребителей в Арктической зоне // Сибирская финансовая школа. 2015. № 1. С. 64
8. Afgan N. H., Carvalho M. G. Multi — criteria assessment of new and renewable energy power plants. Energy, 2002, vol. 26, pp. 739—755.

9. Aras H et al. Multi — criteria selection for a wind observation station location using analytic hierarchy process. *Renewable Energy*, 2004, vol. 29, pp. 1383—1392.
10. Beccali M et al. Decision — making in energy planning. Application of the Electre method at regional level for the diffusion of renewable energy technology. *Renewable Energy*, 2003, no. 10.
11. Cicea C. et al. Environmental efficiency of investments in renewable energy: Comparative analysis at macroeconomic level. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, vol. 30, pp. 555 — 564.
12. Climaco J. *Multicriteria analysis*. New York, Springer, 1997, 154 p.
13. Dvorak P. et al. Renewable energy investment and job creation; a cross — sectoral assessment for the Czech Republic with reference to EU benchmarks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, vol. 69, pp. 360—368.
14. Edenhofer O. et al. On the economics of renewable energy sources. *Energy Economics*, 2013, vol. 40, I. 1, pp. 12—23.
15. *Global Landscape of Renewable Energy Finance*, Abu Dhabi, International Renewable Energy Agency, 2018. Available at: <http://www.irena.org/publications/2018/Jan/Global-Landscape-of-Renewable-Energy-Finance> (accessed 21.01.2018).
16. *Global Trends in Renewable Energy Investment*. Frankfurt School, UNEP Centre, BNEF, 2016. 83 p.
17. Goletsis Y et al. Project ranking in the Armenian energy sector using a multicriteria method for groups. *Ann Oper Res*, 2003, vol. 120, pp. 135—157.
18. Hämäläinen RP, Karjalainen R. Decision support for risk analysis in energy policy. *Eur J Oper Res*, 1992, no. 12.
19. Kablan M. M. Decision support for energy conservation promotion: an analytic hierarchy process approach. *Energy Policy*, 2004, no. 9.
20. Lahdelma R et al. Using multicriteria methods in environmental planning and management. *Environ Manag*, 2000, vol. 26, pp. 595—605.
21. Oberschmidt J et al. Modified PROMETHEE approach for assessing energy technologies. *Int J Energy Sector Manag*, 2010 vol. 4, pp. 183—212.
22. Önüt S et al. Multiple criteria evaluation of current energy resources for Turkish manufacturing industry. *Energy Convers Manage*, 2008, no. 10.
23. Patlitzianas KD et al. Assessing the renewable energy producers' environment in EU accession member states. *Energy Convers Manage*, 2007, vol. 48, 890—897.
24. Pohekar S. D., Ramachandran M. Application of multi — criteria decision — making to sustainable energy planning—a review. *Renew Sustain Energy Rev*, 2004, 187 p.
25. REN21. 2018. *Renewables 2018 Global Status Report* (Paris: REN21 Secretariat). ISBN 978-3-9818911-3-3.
26. Renewable energy consumption (% of total final energy consumption). Available at: <http://data.worldbank.org/indicator/EG.FEC.RNEW.ZS?end=2012&start=2001> (accessed 02.03.2017).
27. *Renewable energy in Europe: Recent growth and knock — on effects*. European Environment Agency, 2016, no. 4. 73 p.
28. *Renewable Power Generation Costs in 2017*. International Renewable Energy Agency IRENA, 2018. Available at: [http://www.irena.org/publications/2018/Jan/Renewable — power — generation — costs — in — 2017](http://www.irena.org/publications/2018/Jan/Renewable—power—generation—costs—in—2017) (accessed 02.03.2017).
29. Rimal Abu Taha. Multi — Criteria Applications in Renewable Energy Analysis, a Literature Review. *Research and Technology Management in the Electricity Industry*, 2013. pp. 17—30. doi: 10.1007/978-1-4471-5097-8_2.
30. San Cristóbal J. R. Multi — criteria decision — making in the selection of a renewable energy project in Spain: the Vikor method. *Renew Energy*, 2011, vol. 36, pp. 498—502.
31. Savinoa M. et al. A new model for environmental and economic evaluation of renewable energy systems: The case of wind turbines. *Applied energy*, 2017, vol. 189, pp. 739—752.
32. Tzeng G-H et al. Multi — criteria analysis of alternative — fuel buses for public transportation. *Energy Policy*, 2005, no. 11.

References

1. Bezrukih P. P., Elistratov V. V. *Problemy, resheniya i opyt vnedreniya gibridnih vetroelectricheskikh kompleksov dlya avtonomnogo energosnabzheniya v Arktike* [Problems, solutions and experience in the implementation of hybrid wind farms for Autonomous power supply in the Arctic]. Materials of the VII international forum «Arctic: present and future», 2017, p. 160.

2. Elistratov V. V., Bolshev A. S., Panfilov A. A., Megreckij K. V., Kupreev V. V. *Nauchno-tekhicheskie problemy sozdaniya vetroehlektricheskikh stancij na shelfe Arktiki* [Scientific and technical problems of creation of wind power stations on the Arctic shelf]. International scientific journal *Alternative energy and ecology*, 2014, №11, pp.36—48.
3. Kopylov A. E. *Ekonomika VIE* [RES economics], Ekaterinburg, Izdatelskie resheniya, 2017. 590 p.
4. Kulakov A. V., Nazarova Y. A. *Investitsionnaya privlekatel'nost' stroitel'stva ob»yektov maloy raspredelennoy generatsii* [Investment attractiveness of construction of small distributed generation facilities]. *Energy Fresh*, 2014, no.1(7), pp. 76—81.
5. Nazarova, Y. A., Sopilko N. Y., Bolotova R. Sh., Sherbakova N. S., Alekseenko V. B. *Uvelicheniye sotsial'nogo znacheniya vozobnovlyayemoy energii dlya rossiyskoy promyshlennosti* [Increase of Social Impact Due to the Development of the Renewable Energy Industry in Russia]. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2017, no. 7(5), pp. 1—8.
6. Nazarova Y. A., Sopilko N. Y., Orlova A. F., Bolotova R. Sh., Gavlovskaya G. V. *Otsenka perspektiv razvitiya vozobnovlyayemykh istochnikov energii dlya Rossii* [Evaluation of Development Prospects of Renewable Energy Source for Russia]. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2017, vol. 7(3), pp. 1—6.
7. Popel O. S. *Ispolzovanie vozobnovlyaemykh istochnikov ehnergii dlya ehnergosnabzheniya potrebitelej v Arkticheskoy zone* [Use of renewable energy sources for energy supply to consumers in the Arctic zone]. *Siberian financial school*, 2015, no. 1, p.64.
8. Afgan N. H., Carvalho M. G. Multi — criteria assessment of new and renewable energy power plants. *Energy*, 2002, vol. 26, pp. 739—755.
9. Aras H et al. Multi — criteria selection for a wind observation station location using analytic hierarchy process. *Renewable Energy*, 2004, vol. 29, pp. 1383—1392.
10. Beccali M et al. Decision — making in energy planning. Application of the Electre method at regional level for the diffusion of renewable energy technology. *Renewable Energy*, 2003, no. 10.
11. Cicea C. et al. Environmental efficiency of investments in renewable energy: Comparative analysis at macro-economic level. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, vol. 30, pp. 555—564.
12. Climaco J. *Multicriteria analysis*. New York, Springer, 1997, 154 p.
13. Dvorak P. et al. Renewable energy investment and job creation; a cross — sectoral assessment for the Czech Republic with reference to EU benchmarks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, vol. 69, pp. 360—368.
14. Edenhofer O. et al. On the economics of renewable energy sources. *Energy Economics*, 2013, vol. 40, I. 1, pp. 12—23.
15. *Global Landscape of Renewable Energy Finance*, Abu Dhabi, International Renewable Energy Agency, 2018. Available at: <http://www.irena.org/publications/2018/Jan/Global-Landscape-of-Renewable-Energy-Finance> (accessed 21.01.2018).
16. *Global Trends in Renewable Energy Investment*. Frankfurt School, UNEP Centre, BNEF, 2016. 83 p.
17. Goletsis Y et al. Project ranking in the Armenian energy sector using a multicriteria method for groups. *Ann Oper Res*, 2003, vol. 120, pp. 135—157.
18. Hämmäläinen RP, Karjalainen R. Decision support for risk analysis in energy policy. *Eur J Oper Res*, 1992, no. 12.
19. Kablan M. M. Decision support for energy conservation promotion: an analytic hierarchy process approach. *Energy Policy*, 2004, no. 9.
20. Lahdelma R et al. Using multicriteria methods in environmental planning and management. *Environ Manag*, 2000, vol. 26, pp. 595—605.
21. Oberschmidt J et al. Modified PROMETHEE approach for assessing energy technologies. *Int J Energy Sector Manag*, 2010 vol. 4, pp. 183—212.
22. Önüt S et al. Multiple criteria evaluation of current energy resources for Turkish manufacturing industry. *Energy Convers Manage*, 2008, no. 10.
23. Patlitzianas KD et al. Assessing the renewable energy producers' environment in EU accession member states. *Energy Convers Manage*, 2007, vol. 48, 890—897.
24. Pohekar S. D., Ramachandran M. Application of multi — criteria decision — making to sustainable energy planning—a review. *Renew Sustain Energy Rev*, 2004, 187 p.
25. REN21. 2018. *Renewables 2018 Global Status Report* (Paris: REN21 Secretariat). ISBN 978-3-9818911-3-3.
26. Renewable energy consumption (% of total final energy consumption). Available at: <http://data.worldbank.org/indicator/EG.FEC.RNEW.ZS?end=2012&start=2001> (accessed 02.03.2017).

27. Renewable energy in Europe: Recent growth and knock — on effects. European Environment Agency, 2016, no. 4. 73 p.
28. Renewable Power Generation Costs in 2017. International Renewable Energy Agency IRENA, 2018. Available at: URL: [http://www.irena.org/publications/2018/Jan/Renewable — power — generation — costs — in — 2017](http://www.irena.org/publications/2018/Jan/Renewable%20power%20generation%20costs%20in%202017) (accessed 02.03.2017).
29. Rimal Abu Taha. Multi — Criteria Applications in Renewable Energy Analysis, a Literature Review. Research and Technology Management in the Electricity Industry, 2013. pp. 17—30. doi: 10.1007/978-1-4471-5097-8_2.
30. San Cristóbal J. R. Multi — criteria decision — making in the selection of a renewable energy project in Spain: the Vikor method. Renew Energy, 2011, vol. 36, pp. 498—502.
31. Savino M. et al. A new model for environmental and economic evaluation of renewable energy systems: The case of wind turbines. Applied energy, 2017, vol. 189, pp. 739—752.
32. Tzeng G — H et al. Multi — criteria analysis of alternative — fuel buses for public transportation. Energy Policy, 2005, no. 11.

Для цитирования: Назарова Ю. А., Горюнов О. А., Жильцов С. А. Анализ факторов, влияющих на развитие возобновляемых источников энергии для энергообеспечения удаленных потребителей // Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера: Вестник Научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского государственного университета. 2018. № 3. С. 28—40.

For citation: Nazarova Yu. A., Gorunov O. A., Zhiltsov S. A. Analysis of the factors influencing development of renewables for power supply to remote consumers // Corporate governance and innovative economic development of the North: Bulletin of the Research Center of Corporate Law, Management and Venture Capital of Syktyvkar State University. 2018. № 3. P. 28—40.