Оригинальная статья / Original article
УДК 620.92
DOI: http://dx.doi.org/10.21285/1814-3520-2021-1-66-79

Характеристики энергетической безопасности децентрализованного района и автономного объекта электрификации

© Б.В. Лукутин*, В.Р. Киушкина,****
**Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Инженерная школа энергетики, г. Томск, Россия*
***«РЭА» Минэнерго России, г. Москва, Россия*
****Научно-образовательный центр «Циркумполярная Чукотка», Чукотский филиал Северо-Восточного федерального университета, г. Анадырь, Россия*

Резюме: Цель – формирование группы объективных критериальных показателей оценки состояния энергетической безопасности децентрализованных удаленных районов севера и Арктических зон и автономных энергетических комплексов электроснабжения. Анализ возможностей возобновляемой энергетики, определяющей эффективность структуры децентрализованных энергетических комплексов с участием возобновляемых источников энергии, в изменении уровня их энергетической безопасности. Формирование индикативных показателей оценки энергетической безопасности объектов исследования проводилось на основе анализа соотношения максимально присущих угроз, территориальных и ситуативных факторов автономной энергетики севера и Арктических зон. На основе проведенного изучения состояния защищенности жизненно важных интересов объектов исследования были сформированы критериальные показатели территориального сегмента и автономного объекта электрификации, формирующих объективную оценку энергетической безопасности изолированных труднодоступных районов. Представлен анализ возможностей возобновляемых источников энергии в достижении отдельных позиций (ресурсной достаточности, экологической допустимости, технологической достижимости и надежности) энергетической безопасности рассматриваемого уровня. На основе проведенных исследований в качестве объектов индикативного анализа предложены группы свойств и процессов в территориальных рамках децентрализованного района, разнесенные по направлениям мониторинга энергетической безопасности локальных энергозон. Разделение совокупности сформированных критериальных показателей по уровням энергозоны и децентрализованного энергетического комплекса позволило учесть всю специфику данных объектов, охватить факторы взаимовлияния с сопутствующими системами в формировании состояния энергетической безопасности. При рассмотрении возможного варианта участия возобновляемых источников энергии в ресурсной и структурной обеспеченности автономного электроснабжения выяснено, что такая диверсификация отразится как на улучшении значений одних критериальных показателей энергетической безопасности исследуемого уровня, так и на ухудшении других.

Ключевые слова: энергетическая безопасность, уровень децентрализованной зоны, децентрализованные энергетические комплексы, детализация угроз, группа индикаторов, возобновляемые источники энергии

Для цитирования: Лукутин Б.В., Киушкина В.Р. Характеристики энергетической безопасности децентрализованного района и автономного объекта электрификации. *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2021. Т. 25. № 1. С. 66–79. https://doi.org/10.21285/1814-3520-2021-1-66-79

The characteristics of energy security in decentralised zones and autonomous objects of electrification

Boris V. Lukutin*, Violetta R. Kiushkina,****
**National Research Tomsk Polytechnic University, School of Energy and Power Engineering, Tomsk, Russia*
***Russian Energy Agency of the Ministry of Energy of the Russian Federation, Moscow, Russia*
****Educational Scientific Centre Circumpolar Chukotka, Chukotka Branch of the North-Eastern Federal University, Anadyr, Russia*

Abstract: The article aims to develop a set of objective criteria for assessing the state of energy security in decentralised remote regions of the north, Arctic zones and autonomous energy supply complexes. The authors assessed the potential

of renewable energetics, which determines the effectiveness of decentralised energy complexes based on renewable energy sources, in improving the energy security of such entities. The indicators for assessing the energy security of research objects were developed on the basis of an analysis of the ratio of the most significant threats, as well as territorial and situational factors of the autonomous energy of the north and Arctic zones. A study of the security of the research objects allowed the development of a set of criteria for territorial segments and autonomous electrification objects, forming an objective assessment of the energy security of isolated hard-to-reach areas. An analysis of the possibilities of renewable energy sources in achieving certain positions (resource sufficiency, environmental acceptability, technological attainability and reliability) of the energy security of the considered level was conducted. Groups of properties and processes within the territorial framework of a decentralised region, separated by the directions of monitoring the energy security of local energy zones are proposed as objects of indicative analysis. The differentiation of the developed criteria by the levels of the energy zone and decentralised energy complex allowed consideration of all the specific features of these objects and cover the factors of mutual influence with accompanying systems in the formation of the state of energy security. When considering a possible option for the participation of renewable energy sources in the structural and resource provision of autonomous electricity supply, it was found that such diversification will affect both the improvement of some criteria of energy security of the considered level, as well as the deterioration of others.

Keywords: energy security, level of a decentralized zone, decentralized energy complexes, detailed description of threats, group of indicators, renewable energy sources

For citation: Lukutin BV, Kiushkina VR. The characteristics of energy security in decentralised zones and autonomous objects of electrification. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2021;25(1):66–79. (In Russ.) https://doi.org/10.21285/1814-3520-2021-1-66-79

ВВЕДЕНИЕ

Анализ энергетической безопасности – мощный инструмент для формирования энергетической политики, которая позволить усовершенствовать энергетические системы любого уровня на основе принятия необходимых действий. Доктриной энергетической безопасности Российской Федерации установлено[1] понятие «энергетической безопасности» как состояния защищенности экономики и населения страны от угроз национальной безопасности в сфере энергетики, при котором обеспечивается выполнение предусмотренных законодательством РФ требований к топливо- и энергоснабжению потребителей.

Энергетическая безопасность как комплексное понятие, представленное в работах профессора В.В. Бушуева[2-4] и ряде научных исследований [1–4], представляет собой совокупное обеспечение показателей ресурсной достаточности, которая определяет физические возможности бездефицитного обеспечения энергоресурсами национальной экономики и населения; экономической доступности, определяющей рентабельность такого обеспечения при соответствующей конъюнктуре цен; экологической допустимости и технологической достижимости, характеризующей возможность добычи, производства и потребления энергоресурсов в существующих на каждом этапе технологий и экологических ограничений рамках, определяющих безопасность функционирования энергетических объектов.

Целью данной работы является формирование группы объективных критериальных показателей оценки состояния энергетической безопасности децентрализованных удаленных районов и автономных энергетических комплексов электроснабжения; анализ возможности возобновляемой энергетики,

---

[1]Доктрина Энергетической безопасности Российской Федерации. Утв. Указом Президента Российской Федерации № 216 от 13.05.2019. [Электронный ресурс]. URL: https://minenergo.gov.ru/node/14766 (12.03.2020).

[2]Бушуев В.В. Энергетическая безопасность как основной приоритет ЭС-2030: доклад // Энергетика и Стратегия национальной безопасности России: Круглый стол Комитета Госдумы по науке и наукоемким технологиям. М., 2010.

[3]Татаркин А.И., Куклин А.А., Мызин А.Л., Калина А.В. Комплексная методика диагностики энергетической безопасности территориальных образований Российской Федерации (вторая редакция). Ч. 1. Методические положения диагностики экономической безопасности территорий регионального уровня. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2002. 80 с.

[4]Энергетическая безопасность. Термины и определения / отв. ред. Н.И. Воропай. М.: Энергия, 2005. 60 с.

определяющей эффективность структуры децентрализованных энергетических комплексов с участием возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в изменении уровня их энергетической безопасности.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ СЕВЕРА И АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

Энергетическая безопасность [5, 6] децентрализованных зон территорий Севера и Арктической зоны (АЗ) – уверенное состояние защищенности энергозон от угроз, обусловленных инфраструктурной изоляцией территории расположения объекта электроснабжения, позволяющее обеспечить разумную диверсифицированность топливных ресурсов и структуры децентрализованных энергетических комплексов электроснабжения (ДЭКЭС) и благоприятные условия для функционирования и энергетической самодостаточности объектов локальной энергетики с поддержанием устойчивости иммунитета экосистем, с учетом суровых климатических условий длительного периода и абсолютно не допускающие наступления ситуации, граничащей с переходом к чрезвычайной при нарушении работы любых систем и подсистем энергохозяйства.

Обеспечение энергетической безопасности децентрализованных территорий Севера и АЗ является составляющей (рис. 1) региональной энергетической безопасности, комплексно характеризующей состояние энергообеспечения потребителей на территории субъекта или федеральных округов Российской Федерации [7, 8].

Обеспечение энергетической безопасности (ЭнБ) является обязательным требованием для любого уровня энергохозяйства, начиная от отдельного объекта. На территории децентрализованного района состояние энергетической безопасности формируют ДЭКЭС в совокупности с взаимосвязано сопутствующими системами (топливо-логистической цепи, экологической и экономической обеспеченности, доступности электрической энергии, природно-ресурсной ориентации, эксплуатационной надежности).

ДЭКЭС, являясь критически важными объектами изолированных территорий Севера, нарушение работы которых приведет к снижению безопасности жизнедеятельности населения и защищенности жизненно важных интересов децентрализованного района, жестко обусловливают требование к обеспечению индивидуальной энергетической безопасности.

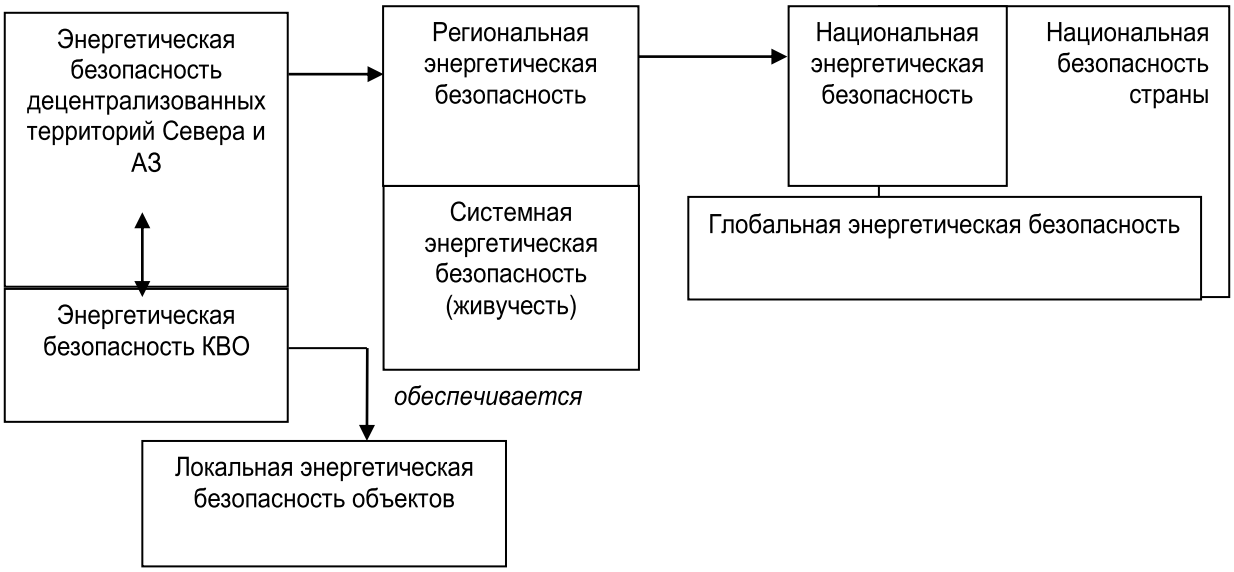

Рис. 1. Энергетическая безопасность децентрализованных энергетических комплексов электроснабжения в структуре отдельных уровневых понятий
Fig. 1. Energy security of decentralized power supply systems in the structure of individual level concepts

Энергетическая безопасность ДЭКЭС (автономной системы электроснабжения) – необходимое и достаточное условие надежного и устойчивого электроснабжения инфраструктурно изолированных объектов труднодоступных территорий и состояние достаточной защищенности при функционировании (выполнении своих главных хозяйственных функций) и развитии в условиях высокой уязвимости и восприимчивости к угрозам и степени критичности рисков их воздействий.

Сущность ЭнБ как энергетической категории – защита энергетического благополучия децентрализованных энергозон, устойчивое сохранение жизнедеятельности изолированных территорий Севера и Арктических зон, самобытной культуры, комфортной среды проживания поселений через обеспечение всех составляющих и производных совокупности процессов функционирования энергетических хозяйств.

Исходя из 14 основных направлений обеспечения энергетической безопасности, обозначенных в Документе стратегического планирования в сфере обеспечения национальной безопасности РФ – Доктрине энергетической безопасности, для децентрализованных территорий можно выделить области, касающиеся надежного и устойчивого обеспечения потребителей энергоресурсами стандартного качества и услугами в сфере энергетики, технической доступности инфраструктуры ТЭК для различных групп потребителей.

Анализ состояния защищенности значимых интересов децентрализованных энергозон и существенных характеристических аспектов ДЭКЭС территорий Севера и АЗ позволяет формировать совокупности объективных показателей системы обеспечения их энергетической безопасности.

Предметом ЭнБ децентрализованных энергозон является процесс оперативного мониторинга состояния показателей функционирования, развития и своевременного прогнозирования их позиций в социально-экономическом эффекте и экологических ориентирах через заданные формы реагирования на: изменение состояния показателей в худшую сторону; предпосылки наступления негативных ситуаций; естественно сложившиеся риски возникновения угроз; вероятность возникновения негативных воздействий; вероятность приближения к чрезвычайной ситуации; наличие реальных опасностей и последствия уже проявившихся.

Соответственно, для создания системы обеспечения ЭнБ, приоритетом в которой являются меры мониторинга состояния и возможных угроз ЭнБ, должна быть сформирована система объективных показателей на основе сбора большого массива данных и анализа состояния защищенности жизненно важных интересов децентрализованной энергозоны и расположенных в ней объектов энергообеспечения.

СОВОКУПНОСТЬ ФАКТОРОВ И УСЛОВИЙ В ФОРМИРОВАНИИ КРИТЕРИАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Для решения задачи сформирована модель детализации отдельных локальных индикативных показателей для типовых зон децентрализованного электроснабжения Северных регионов. Классификация соотношений максимально присущих угроз и условий (1–7) (рис. 2), а также территориальных и ситуативных факторов автономной энергетики (Т1-Т3/А1-А3) [5] в схеме уточненного перечня индикаторов характеризует обоснование выделенных групп (рис. 3).

Совокупность реальных и потенциальных угроз энергетической безопасности децентрализованных энергозон составляют природные, внутриэкономические и внешнеэкономические для зоны, социальные, управленческо-правовые. Их источниками являются неблагоприятные сочетания сложившихся условий существования территорий, отражающиеся на внутренней среде энергохозяйства [5, 9]. Сама специфика такого совмещения имеет потенциал к порождению рисков с ярко выраженными факторами: риски несвоевременных поставок топливных ресурсов к ДЭКЭС (изучены факторы сбоев в логистических операциях при климатических проявлениях и воздействиях природных угроз, нарушения доступности транспортной инфраструктуры и т.п.); технические риски (изучены факторы технического несовершенства

оборудования, высокой деградации оборудования основных производственных фондов (ОПФ) ДЭКЭС, нарушения требований эксплуатации низкоквалифицированным персоналом, миграции трудоспособного населения и т.д.); риски неэффективной работы ДЭКЭС (изучены факторы нерациональной структуры, повышенного удельного потребления топливных энергоресурсов, высокой разнотипности оборудования, несвоевременности обслуживания при ограниченной доступности территориально-транспортной инфраструктуры и т.д.).

Группы индикативного перечня (рис. 3) представлены в виде связанных показателей внутри множеств «обеспечения характеристик», объединяющих определенные характеристики отраслевых аспектов энергетической безопасности.

Совокупность факторов и условий функционирования децентрализованных энергозон обусловлена причинами, сложившимися в силу исторического освоения территорий, особенностями их географического расположения, неэффективностью региональной политики, слабостью механизмов реализации энергосберегающей политики, сниженного внимания к их развитию в прошлые годы, накоплением проблем и нереализованных мероприятий, обозначенных в планах осуществления стратегий развития и др. Неэффективность использования топливно-энергетических ресурсов сопровождается критической зависимостью от условий их транспортировки, возможностью ограничений, неприемлемыми тарифами.

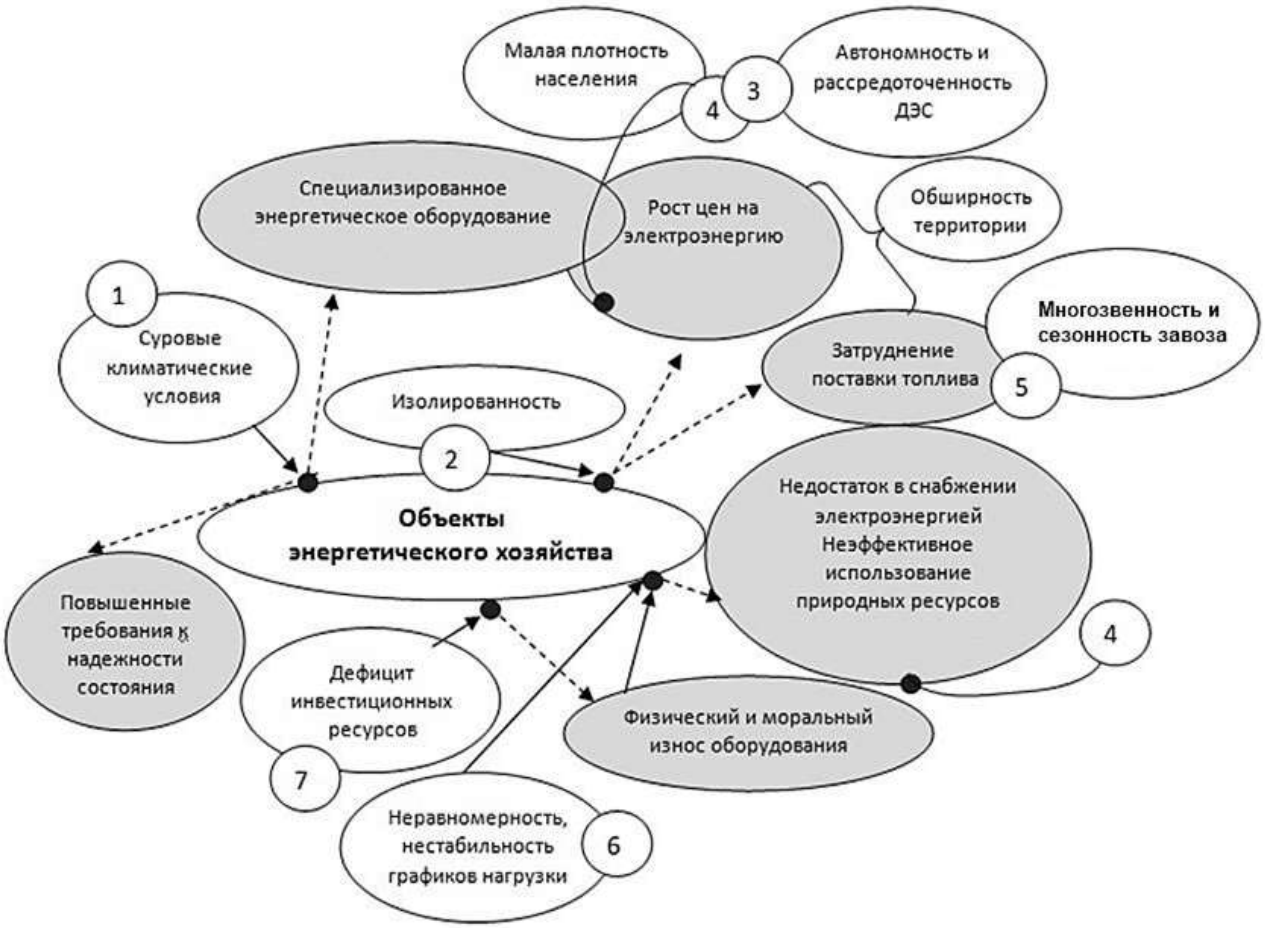

Рис. 2. Схема максимально проявляющихся факторов угроз в северных децентрализованных районах
Fig. 2. Diagram of the top threats in the northern decentralized areas

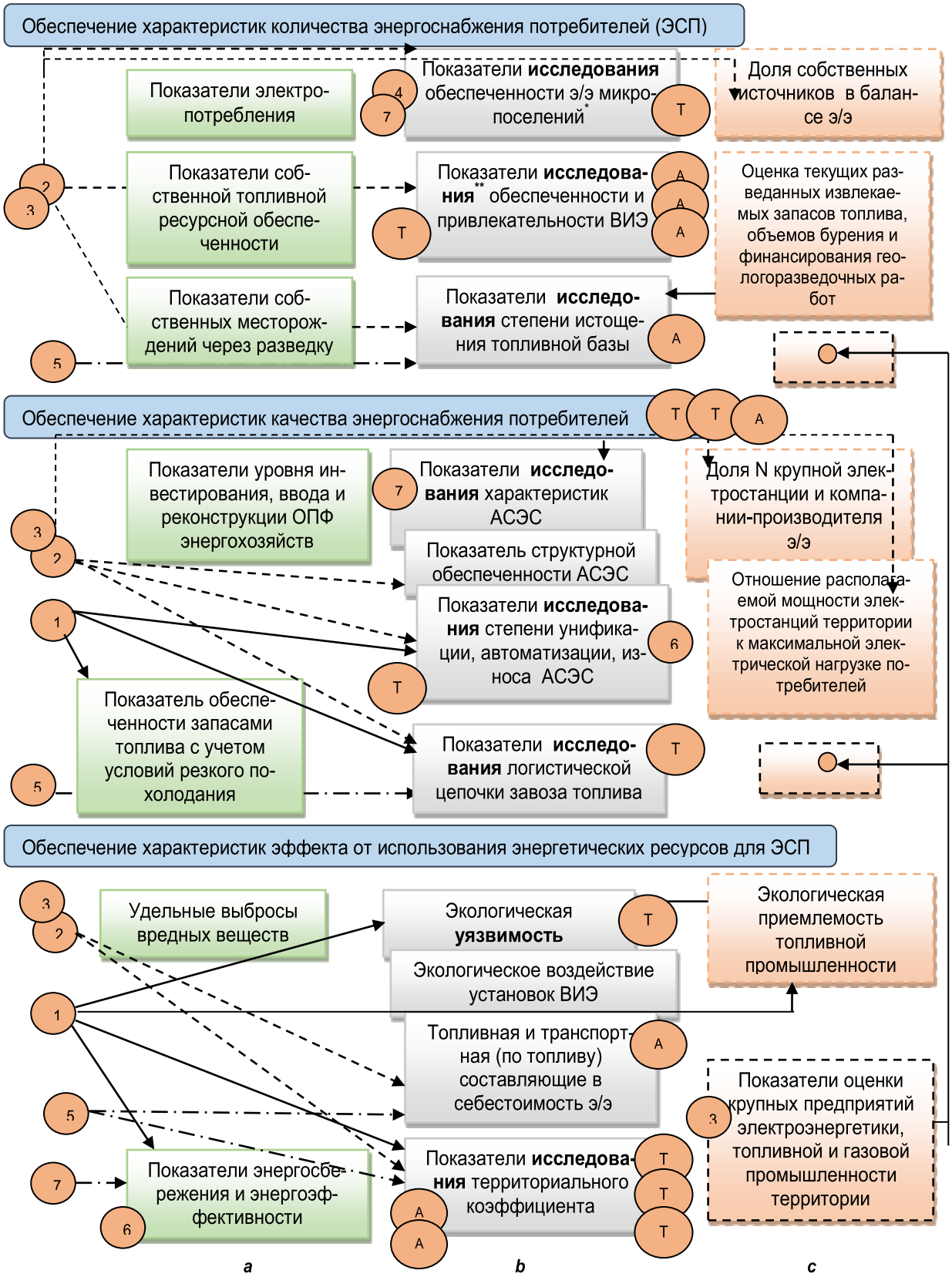

Рис. 3. Обобщенная схема показателей (a – сохраненных в перечне, b – введенных в перечень, c – исключенных из перечня) в конъюнктивном множестве условий децентрализации и территориальных особенностей

Fig. 3. A generalized diagram of indicators (a – saved in the list, b – included in the list, c – excluded from the list) in the conjunctive set of decentralization conditions and regional features

Примечание: в рис. 3 э/э – электроэнергия.

Источниками локальных рисков возникновения угроз ЭнБ децентрализованных энергозон в группе территориальных факторов (как специфических особенностей географического положения) выделены: (Т1) – экстремальные природно-климатические условия, зона вечной мерзлоты, высокочувствительность экосистем с низкой рекреационной возможностью; (Т2) – очаговый характер расселения и низкая плотность населения, самобытность и исторически сложившийся уклад жизнедеятельности; (Т3) – периферийное положение, зоны ограниченной доступности, сложность логистической цепи, неразвитость территориально-транспортной инфраструктуры.

В группе ситуативных факторов автономной энергетики выделены: (А1) – инфраструктурная изоляция – нерациональная структура генерирующих мощностей – основная доля в генерации – дизельные электростанции (ДЭС) – высокий износ ОПФ – низкий квалификационный уровень персонала; (А2) – высокая себестоимость производства электроэнергии – высокая транспортная топливная составляющая; (А3) – низкая платежеспособность населения.

Такая совокупность факторов с учетом труднодоступности, изолированности и суровости природных условий как угроза энергетической безопасности децентрализованных энергозон создает высокую уязвимость их благополучному состоянию.

Степень рисков даже в системе благоприятных значений показателей хоть и незначительна, но будет иметь место, так как исследуемые энергозоны не имеют должной способности «сопротивляться» воздействиям угроз природного или территориального характера, которые априори будут на них воздействовать.

«Группа А» представляет собой совокупность показателей, принятых в оценке ЭнБ по существующим методикам, не противоречащих приемлемости применения к специфике децентрализованных систем электроснабжения в условиях инфраструктурной изоляции, удаленности и суровости климатических условий. Отдельные индикаторы в данной группе показателей скорректированы, внесены в состав единичных индикаторов и адаптированы к оценке децентрализованных районов и ДЭКЭС.

В ходе исследования сформирована «группа показателей Б», которая характеризует особенности и индивидуальные свойства исследуемых систем. Они подлежат учету в оценке уровня и состава угроз ЭнБ, максимально присущих исследуемым территориям и объектам. Включены индикаторы, затрагивающие одни из слабых и сложных кластеров в энергообеспечении инфраструктуры таких территорий.

Отдельная группа индикаторов посвящена оценке ключевых характеристик ДЭКЭС / автономных систем электроснабжения (АСЭС). В перечне введенных индикаторов представлена группа, отражающая направления, характеризующие степень социальной и экономической оправданности комплексного развития локального кластера и т.д.

Исключенные из перечня индикаторы «группы С» характеризуют показатели объектов крупной топливной промышленности и электроэнергетики либо не соответствуют сущности децентрализованных энергозон.

ИНДИКАТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ В СОСТАВЕ РЕГИОНАЛЬНОГО УРОВНЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Индикативный анализ энергетической безопасности выполняется по нескольким индикативным блокам, причем отдельные из них, как и единичные индикаторы других, имеют экономический характер [2, 6, 10–12].

Измерения энергетической безопасности включают количественные и качественные характеристики энергетической безопасности, характеризующие как ее традиционные проблемы, так и многие новые факторы, такие как социокультурные и технологические, экологической устойчивости и энергоэффективности. Это расширяет объем энергетической безопасности.

Исследования в области энергетической безопасности должны быть четко концептуализированы во взаимосвязи с уровнями ее рассмотрения, многоуровневым воздействием угроз и изменяющимися акцентами на те-

кущие аспекты устойчивого развития территорий. Соответственно, это должно вести к всестороннему методологическому усовершенствованию инструментов оценки и мониторинга состояния энергетической безопасности, разработке точных и надежных инструментов поддержки принятия управленческих решений и развитию энергетической политики, обеспечивающей внутреннюю согласованность [8, 13].

Показатели множеств, представленных на схеме рис. 2, выделяют индикаторы для диагностики энергетической безопасности уровня децентрализованной энергозоны (ее подсистем, сопутствующих систем, объектов и потребителей энергоресурсов), структурированные по направлениям текущего и перспективного состояния территории по энергетической безопасности:

1. Обеспеченность электрической энергией в оптимальном распределении электропотребления децентрализованной территории:

– коэффициент обеспеченности электрической энергией;

– уровень электропотребления в оценке Н-распределения, кВт·ч/год;

– душевое электропотребление в КБХ, кВт·ч/год.

2. Топливно-энергетическая (ресурсная) обеспеченность децентрализованной территории:

– доля доминирующего ресурса в общем потреблении топлива, %;

– возможность обеспечения потребности в топливных ресурсах из собственных источников, %;

– возможность обеспечения производства электроэнергии ресурсами ВИЭ, % / коэффициент обеспеченности ВИЭ;

– обеспеченность текущими разведанными извлекаемыми запасами и прогнозными ресурсами (достигнутая степень освоенности месторождений) при целенаправленности на собственное использование.

3. Региональное развитие электроэнергетики децентрализованной территории:

– темп совершенствования систем электроснабжения децентрализованных потребителей (в целесообразных вариантах);

– возможность и уровень развития сетевой инфраструктуры (подключение к системе централизованного электроснабжения);

– возможность и уровень объединения разрозненных АСЭС в крупные энергоузлы;

– возможность и уровень реализации проектов сжиженного природного газа, атомных электростанций малой мощности и иных электростанций;

– возможность и уровень газификации населенных пунктов;

– коэффициент привлекательности ВИЭ;

– уровень роста объемов инвестирования в энергохозяйства / соответствие объемов инвестирования технологическому и техническому состоянию энергохозяйств;

– доступность генерирующих установок на основе ВИЭ в себестоимости производимой электроэнергии;

– темп роста доли энергосберегающих технологий в производстве электро- и теплоэнергии на объектах ТЭК;

– уровень снижения затрат на производство 1 кВт·ч электроэнергии;

– уровень снижения доли топливной составляющей (привозного ресурса) в себестоимости производства электроэнергии;

– уровень доступности территориально-транспортной инфраструктуры / характеристический показатель логистической цепи поставок топливных ресурсов;

– территориальный коэффициент социально-экономической оправданности комплексного развития;

– относительное изменение величины удельной энергоемкости ВРП [14, 17], %;

– доля реализации мероприятий по достижению целевых показателей стратегических приоритетов региональной политики (энергетического фактора) / выполнение инвестиционных программ для развития энергетики децентрализованных энергозон.

4. Социально-экономическая (кадровая) обеспеченность децентрализованной территории:

– уровень укомплектованности инженерными и техническими кадрами объектов АСЭС;

– кадровая потребность для энергохозяйств АСЭС / возможность обеспечения; кадровой потребности местными учебными

заведениями разного уровня.

5. Обеспеченность сохранения экологического иммунитета:

– уровень выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и водные пространства;

– уровень рекультивации земель от нарушений деятельностью ДЭКЭС;

– доля снижения экологических нарушений за счет внедрения ВИЭ;

– соотношение показателей экологического следа от установок традиционного типа и на основе ВИЭ.

Представленный перечень индикативных показателей явно показывает заметное влияние экономических факторов (в рамках анализа энергетической безопасности) на ситуативную оценку и воздействие на формирование состояния децентрализованных территорий рассматриваемого типа.

Действие экономических угроз весьма существенно проявляется в совокупности показателей работы систем энергетики, которые непосредственно представляют технические и технологические факторы энергетических комплексов и систем территории.

Ниже предлагается совокупность индикаторов энергетической безопасности ДЭКЭС, позволяющая достаточно полно оценить параметры и показатели развития и функционирования ДЭКЭС, характеризующие состав и глубину реализации потенциальных угроз в территориальных рамках децентрализованного района. В интегральной оценке энергетической безопасности децентрализованной территории они входят в индикативную группу блоков надежности топливо- и энергоснабжения, состояния ОПФ и энергоэффективности ДЭКЭС энергозоны:

1. Видовая диверсифицированность генерирующих источников ДЭКЭС/ уровень диверсифицированности структуры ДЭКЭС (ДЭС, ВИЭ, иные генерирующие источники):

– коэффициент структурной обеспеченности АСЭС (в том числе рациональность соотношения числа и мощности резервных и рабочих агрегатов ДЭС, рациональность соотношения установленных мощностей ДЭС и ВИЭ, возможность работы энергоустановок ВИЭ в автономном режиме).

2. Степень автоматизации и дистанционного управления АСЭС (в соотношении с дополнительными параметрами, включая скорости реакции на аварию):

– обеспеченность квалифицированным эксплуатационным персоналом АСЭС, %.

3. Степень износа генерирующего оборудования и электросетевого хозяйства АСЭС, %:

– уровень унификации генерирующего оборудования АСЭС (по видам оборудования);

– доля оборудования отечественного производства в составе ОПФ ДЭКЭС (оценка уровня импортозамещения).

4. Отношение среднегодового ввода установленной мощности и технического перевооружения АСЭС за последние 5 лет к установленной мощности, %:

– объем резервуарного парка ДЭС в соответствии с нормативным показателем обеспеченности запасами топливных ресурсов / уровень обеспеченности топливохранилищ емкостями удовлетворительного состояния;

– уровень потенциальной обеспеченности спроса на ТЭР в условиях резкого похолодания, %.

5. Удельный расход условного топлива на производство электроэнергии АСЭС децентрализованной зоны, г у.т./кВт·ч:

– доля объема электроэнергии, вырабатываемой энергоэффективным электрооборудованием, в том числе ВИЭ;

– доля объема производимой электроэнергии установками на основе ВИЭ к потенциальной доле возможного объема производства электроэнергии на основе ВИЭ в общем производстве электрической энергии;

– коэффициент использования установленной мощности генерирующих установок, в том числе на основе ВИЭ;

– собственные нужды и относительная величина потерь электроэнергии в электрических сетях, %.

6. Уровень снижения количества аварийных ситуаций при электроснабжении на источниках электроснабжения и в электрических сетях, %:

– динамика снижения количества аварийных ситуаций, вызванных ошибками персонала (оценка компетентности кадрового персонала);

ISSN 1814-3520

– динамика снижения количества аварийных ситуаций, возникших вследствие природно-климатических факторов.

Показатель видовой диверсифицированности генерирующих источников является установочным в оценке структуры ДЭКЭС с позиции отражения начальных условий обеспечения живучести автономных систем в оценке энергетической безопасности.

Электрификация автономных объектов сегодня наряду с дизельными электростанциями осуществляется ветро- и фотодизельными системами, позволяющими улучшить технико-экономические характеристики автономной системы электроснабжения и повысить энергетическую безопасность электрифицируемого объекта.

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ НА ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ В СОСТАВЕ РЕГИОНАЛЬНОГО УРОВНЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Установление критериев оптимизации, определяющих эффективность структуры в повышении уровня энергетической безопасности ДЭКЭС, целесообразнее реализовать через схемные решения. Рассмотрим решения с участием возобновляемых источников энергии.

Возобновляемая энергетика в силу объективных причин позволяет повысить отдельные индикативные показатели энергетической безопасности – в первую очередь ДЭКЭС. Основные преимущества ВИЭ в рассматриваемом аспекте состоят в возможности снижения топливной зависимости ДЭКЭС, снижения количества и тяжести аварийных ситуаций за счет более высокой надежности генерирующего оборудования ВИЭ по сравнению с дизельными генераторами. Известными недостатками ВИЭ являются изменчивость их энергетического потенциала и дороговизна оборудования (несмотря на устойчивый тренд удешевления). При этом рассмотрение различных сценариев участия ВИЭ в рамках энергетического перехода показывает возможность определения оптимальных моделей по стоимости, оптимального и целесообразного сочетания энергетических технологий, эффективных вариантов оптимизации энергетических комплексов [16–21].

Таким образом, возобновляемая энергетика на сегодня обладает реальными возможностями повышения энергетической безопасности удаленных дизельных ДЭКЭС экономически оправданными средствами. Экономическая целесообразность может быть достигнута за счет экономии средств на топливообеспечение дизельной электростанции.

Интеграция энергоустановок возобновляемой энергетики в дизельный ДЭКЭС может осуществляться на принципах совместной или независимой работы, дизельной и возобновляемой частей генерирующих энергоустановок. В качестве энергоустановок возобновляемой энергетики чаще всего используются наиболее универсальные ветро- и фотоэлектрические станции.

Следует отметить, что при построении фото- или ветродизельных ДЭКЭС установленная мощность дизельной части гибридной электростанции по соображениям энергетической безопасности не изменяется. Следовательно, суммарная установленная мощность и, соответственно, стоимость энергетического оборудования гибридного ДЭКЭС возрастают, однако количество необходимой электроэнергии для автономной системы электроснабжения не изменяется. Это приводит к изменению количественных характеристик индикаторов энергетической безопасности ДЭКЭС, затрагивающих сферу управления развитием энергохозяйства децентрализованной энергозоны.

Принципы взаимодействия дизельной и возобновляемой частей энергокомплекса напрямую связаны с характеристиками его энергобезопасности. В частности, параллельная работа фото- или ветроэлектростанций на автономную дизельную систему электроснабжения не обеспечивает их независимую работу на потребителя при отказе ДЭС, что не позволяет рассматривать энергоустановки ВИЭ как дополнительные независимые энергоисточники и повысить соответствующие характеристики энергетической безопасности гибридной ДЭКЭС. Режим раздельной работы дизельной и возобновляемой частей генерирующих энергоустановок предусматривает накопители электроэнергии

в составе фото- и ветроэлектростанций, что позволяет с некоторыми ограничениями рассматривать их в качестве дополнительных источников электропитания, способствующих повышению соответствующих характеристик энергетической безопасности ДЭКЭС в важнейшем направлении оценки живучести энергетических комплексов.

Упомянутые ограничения связаны с нестабильностью возобновляемого энергоресурса и с ограниченным запасом электроэнергии в аккумулирующих системах. Для достижения большей стабильности первичных возобновляемых энергоносителей – ветра и солнца – перспективно построение гибридных ДЭКЭС с генерацией трех видов: ветроэлектрической, фотоэлектрической и дизельной (или другой топливной). Разные функции распределения во времени энергетического потенциала ветра и инсоляции обеспечивают большую суммарную стабильность первичных энергоносителей и позволяют с большей достоверностью рассматривать независимую ветро-солнечную составляющую гибридной генерации с системой аккумулирования электроэнергии основным энергоисточником, отводя ДЭС роль вспомогательного, обеспечивающего заряд аккумуляторов при временном недостатке возобновляемых энергоресурсов. Очевидно, что такая ДЭКЭС характеризуется минимальным потреблением топлива и, если этот показатель имеет приоритетный ранг, то, несмотря на высокую стоимость оборудования, эта схема позволяет максимально улучшить показатели энергетической безопасности, связанные с топливообеспечением.

Несомненно, при рассмотрении диверсификации ресурсной обеспеченности и структуры автономного электроснабжения как одного из решений в задачах обеспечения энергетической безопасности, более детальному анализу подлежит индикативный показатель коэффициента привлекательности ВИЭ, который в алгоритме своего определения содержит и модули критериального сравнения с местными ресурсами и направлениями развития иных энергоресурсов.

Необходимо отметить, что все чаще возобновляемые источники энергии стали обозначаться в контексте с вопросами содействия устойчивому экономическому и социальному развитию со стороны обеспечения энергетической безопасности стран и региональных объединений [22, 23].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Специфика, факторы и условия функционирования ДЭКЭС и децентрализованных энергетических районов севера и Арктических зон как отдельный уровень энергетических систем требуют комплексного решения в обеспечении нормального состояния энергетической безопасности, для чего необходима разработка специальной методологии оценки. К оценке энергетической безопасности децентрализованных энергозон с ДЭКЭС предлагается концептуально иной подход с набором индикаторов, обеспечивающих системный и комплексный подходы энергобезопасности рассматриваемых объектов в территориальных рамках децентрализованной зоны. Это позволяет получить объективную оценку энергетической безопасности децентрализованного района и автономного объекта электрификации.

Предлагаемая методология позволяет анализировать существующие угрозы энергетической безопасности, идентифицировать риски, исключать принятие неверных и даже однобоких решений, в том числе в целевом распределении средств на обеспечение и повышение энергетической безопасности. Показана роль участия ВИЭ в достижении отдельных позиций энергетической безопасности. В зависимости от конфигурации и алгоритма взаимодействия энергоустановок ВИЭ и дизельной составляющей ДЭКЭС возможно как улучшение значений одних критериальных показателей энергетической безопасности, так и ухудшение других.

Показатели составляющих оценки региональной энергетической безопасности должны систематически подвергаться дополнительному анализу в силу возможного изменения характера угроз, а также пересекающимся изучением прямых и обратных связей энергетики с экономикой децентрализованной территории. Это послужит возможному пересмотру направленности мер и выбору

наиболее эффективных путей управления энергетической безопасностью изолированных труднодоступных территорий в соответствии с актуализацией задач стратегических направлений развития региона.

Для решения задач по достижению и обеспечению интегральных показателей энергетической безопасности рассматриваемых территорий должны быть определены региональные пороговые уровни для значений отдельных индикаторов в соответствии с внутренними целями социально-экономического развития и показателями федерального уровня в целом и на уровне субъектов РФ.

Список литературы

1. Богатырев Л.Л., Бочегов А.В., Воропай Н.И. Надежность топливо- и энергоснабжения и живучесть систем энергетики регионов России / под науч. ред. Н.И. Воропая, А.И. Татаркина. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2003. 392 с.
2. Куклин А.А., Мызин А.Л., Богатырев Л.Л., Пыхов П.А., Денисов О.А., Ананичева С.С. [и др.]. Отраслевые и региональные проблемы формирования энергетической безопасности / под ред. А.А. Куклина, А.Л. Мызина. Екатеринбург: Изд-во Институт экономики УрО РАН, 2008. 384 с.
3. Савельев В.А. Методика оценки энергетической безопасности регионов на примере Ивановской области // Повышение эффективности работы энергосистем: Труды ИГЭУ. Вып. 5. / под ред. В.А. Шуина, М.Ш. Мисриханова. М.: Энергоатомиздат, 2002. 247 с.
4. Сендеров С.М. Анализ трансформации стратегических угроз энергетической безопасности России до 2030 г. и приоритетные направления мер по их нейтрализации // Энергосбережение и энергоэффективность – динамика развития: сб. тез. докл. VIII Междунар. конгр. СПб.: ООО FarEXPO, 2018. С. 7–11.
5. Kiushkina V., Lukutin B. Energy security of northern and arctic isolated territories // Regional Energy Policy of Asian Russia: E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 77. https://doi.org/10.1051/e3sconf/20197701008
6. Kiushkina V.R., Antonenkov D.V. Specifics of assessing energy security of isolated energy service areas in territories with harsh climatic conditions // International Journal of Energy Technology and Policy. 2019. Vol.15. No. 2/3. P. 236–253. https://doi.org/10.1504/IJETP.2019.098971
7. Бушуев В.В., Воропай Н.И. Энергетический фактор в структуре национальной безопасности России // Энергетическая политика. 2017. № 1. С. 12.
8. Киушкина В.Р., Реев С.Н. Региональные показатели оценки и риски энергетической безопасности децентрализованных энергозон Арктических территорий // Арктика-2020. Арктика: шельфовые проекты и устойчивое развитие регионов: сб. матер. V Междунар. конф. (г. Москва, 19–20 февраля 2020 г.). М.: Системный Консалтинг, 2020. С. 32–33.
9. Smirnova E., Senderov S. Energy security problems at the regional level: situation analysis and main trends // Regional Energy Policy of Asian Russia: E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 77. https://doi.org/10.1051/e3sconf/20197701009
10. Senderov S., Rabchuk V. On the system of key indicators for monitoring the compliance with requirements of the Russia's Energy Security Doctrine in terms of reliable fuel and energy supply to domestic consumers of energy resources // Methodological Problems in Reliability Study of Large Energy Systems: E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 139. https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913901007
11. Ang B.W., Choong W.L., Ng T.S. Energy security: definitions, dimensions and indexes // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. Vol. 42. P. 1077–1093. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.064
12. Vivoda V. Evaluating energy security in the Asia-Pacific region: A novel methodological approach // Energy Policy. 2010. Vol. 38. Iss. 9. P. 5258–5263. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.05.028
13. Pasqualetti M.J., Sovacool B.K. The importance of scale to energy security // Journal of Integrative Environmental Sciences. 2012. Vol. 9. Iss. 3. P. 167–180. https://doi.org/10.1080/1943815X.2012.691520
14. Сендеров С.М., Рабчук В.И. Индикаторы оценки доктрины энергобезопасности России по надежности топливо- и энергоснабжения // Энергетическая политика. 2019. № 3. С. 86–95.
15. Skufina T., Baranov S., Samarina V. Modeling the Production of GRP Regions of the North of Russia // Smart Innovation, Systems and Technologies: The International Science and Technology Conference "FarEastCon". 2019. Vol. 139. P. 173–179. https://doi.org/10.1007/978-3-030-18553-4_22
16. Lukutin B., Kiushkina V. Intellectual energy security monitoring of decentralized systems of electricity with renewable energy sources // International Conference Green Energy and Smart Grids: E3S Web of Conferences. 2018. Vol. 69. https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186902002
17. Bogdanov D., Breyer C. North-East Asian super grid for 100% renewable energy supply: optimal mix of energy technologies for electricity, gas and heat supply options // Energy Conversion and Management. 2016. Vol. 112. P. 176–190. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.01.019
18. Gordievsky E., Sirotkin E., Miroshnichenko A. Development of mobile power complex model on renewable energy sources for autonomous electrical supply of Russian Far Eastern region // Proceedings - 2019 International Ural Conference on Electrical Power Engineering, UralCon (Chelyabinsk, 1–3 October 2019). Chelyabinsk: IEEE, 2019. P. 148–153. https://doi.org/10.1109/URALCON.2019.8877665

19. Elistratov V., Kudryasheva I. Regimes, management and economics of energy complexes on the basis of renewable energy sources for autonomous power supply // International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems 2019: E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 124. https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912404023
20. Киушкина В.Р. Эффекты вовлечения ВИЭ в мониторинг состояния энергетической безопасности северных и арктических зон РФ // Энергетическая политика. 2018. № 4. С. 109–117.
21. Miroshnichenko A., Sirotkin E., Bodrova E. On the possibility to solve the problems of electrical power supply to autonomous consumers by using renewable energy sources // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (Vladivostok, 1–4 October 2019). Vladivostok: IEEE, 2019. https://doi.org/10.1109/FarEastCon.2019.8934390
22. Wang Qiang, Yang Xuan. Investigating the sustainability of renewable energy – An empirical analysis of European Union countries using a hybrid of projection pursuit fuzzy clustering model and accelerated genetic algorithm based on real coding // Journal of Cleaner Production. 2020. Vol. 268.
https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121940
23. Azzuni A., Aghahosseini A., Ram M., Bogdanov D., Caldera U., Breyer C. Energy security analysis for a 100% renewable energy transition in Jordan by 2050 // Sustainability. 2020. Vol. 12. Iss. 12.
https://doi.org/10.3390/su12124921

References

1. Bogatyrev LL, Bochegov AV, Voropay NI. *Reliability of fuel and energy supply and survivability of energy systems in Russian regions* / eds. NI Voropay, AI Tatarkin. Yekaterinburg: Ural Federal University; 2003, 392 p. (In Russ.)
2. Kuklin AA, Myzin AL, Bogatyrev LL, Pykhov PA, Denisov OA, Ananicheva SS, et al. *Sectoral and regional problems of energy security formation*. Ekaterinburg: Institute of Economics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 2008, 384 p. (In Russ.)
3. Savel'ev VA. Methodology for energy security assessment in regions on example of the Ivanovo region. In: (eds.). Shuina VA, Misrihanova MSh. Improvement of power system efficiency: ISPEU Proceedings. Iss. 5. Moscow: Energoatomizdat; 2002, 247 p. (In Russ.)
4. Senderov SM. Analysis of changes in strategic threats to Russia's energy security for the period until 2030 and priority measures to neutralize them. *Energosberezhenie i energoeffektivnost' – dinamika razvitiya: sbornik tezisov dokladov VIII Mezhdunarodnogo Kongressa = Energy saving and energy efficiency – development dynamics.* Saint-Petersburg: OOO FarEXPO; 2018, p. 7–11. (In Russ.)
5. Kiushkina V, Lukutin B. Energy security of northern and arctic isolated territories. In: *Regional Energy Policy of Asian Russia: E3S Web of Conferences*. 2019;77. https://doi.org/10.1051/e3sconf/20197701008
6. Kiushkina VR, Antonenkov DV. Specifics of assessing energy security of isolated energy service areas in territories with harsh climatic conditions. *International Journal of Energy Technology and Policy*. 2019;15(2/3):236–253.
https://doi.org/10.1504/IJETP.2019.098971
7. Bushuev VV, Voropay NI. Energy factor in the structure of Russian national security. *Energeticheskaya politika = Energy policy*. 2017;1:12. (In Russ.)
8. Kiushkina VR, Reev SN. Regional assessment indicators and risks of energy security of decentralized energy zones of the Arctic territories. In: *Arktika-2020. Arktika: shel'fovye proekty i ustojchivoe razvitie regionov: sbornik materialov V Mezhdunarodnoj konferencii = Arctic: Offshore Projects and Sustainable Development of Regions: collection of articles of V international conference.* 19–20 February 2020, Moscow. Moscow: Sistemnyj Konsalting; 2020, p. 32–33. (In Russ.)
9. Smirnova E, Senderov S. Energy security problems at the regional level: situation analysis and main trends. In: *Regional Energy Policy of Asian Russia: E3S Web of Conferences*. 2019;77.
https://doi.org/10.1051/e3sconf/20197701009
10. Senderov S, Rabchuk V. On the system of key indicators for monitoring the compliance with requirements of the Russia's Energy Security Doctrine in terms of reliable fuel and energy supply to domestic consumers of energy resources. In: *Methodological Problems in Reliability Study of Large Energy Systems: E3S Web of Conferences*. 2019;139.
https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913901007
11. Ang BW, Choong WL, Ng TS. Energy security: definitions, dimensions and indexes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015;42:1077–1093.
https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.064
12. Vivoda V. Evaluating energy security in the Asia-Pacific region: A novel methodological approach. *Energy Policy*. 2010;38(9):5258–5263.
https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.05.028
13. Pasqualetti MJ, Sovacool BK. The importance of scale to energy security. *Journal of Integrative Environmental Sciences*. 2012;9(3):167–180.
https://doi.org/10.1080/1943815X.2012.691520
14. Senderov SM, Rabchuk VI. Assessment indicators of Russian energy security doctrine in the field of fuel and energy supply reliability. *Energeticheskaya politika = Energy policy*. 2019;3:86–95. (In Russ.)
15. Skufina T, Baranov S, Samarina V. Modeling the production of GRP regions of the north of Russia. In: *Smart Innovation, Systems and Technologies: The International Science and Technology Conference "FarEastCon"*. 2019;139:173–179.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-18553-4_22
16. Lukutin B, Kiushkina V. Intellectual energy security monitoring of decentralized systems of electricity with renewable energy sources. In: *International Conference Green Energy and Smart Grids: E3S Web of Conferences*. 2018;69.
https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186902002
17. Bogdanov D, Breyer C. North-East Asian super grid

for 100% renewable energy supply: optimal mix of energy technologies for electricity, gas and heat supply options. *Energy Conversion and Management.* 2016;112:176–190. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.01.019
18. Gordievsky E, Sirotkin E, Miroshnichenko A. Development of mobile power complex model on renewable energy sources for autonomous electrical supply of Russian Far Eastern region. In: *Proceedings - 2019 International Ural Conference on Electrical Power Engineering, UralCon*. 1–3 October 2019, Chelyabinsk. Chelyabinsk: IEEE; 2019, p. 148–153. https://doi.org/10.1109/URALCON.2019.8877665
19. Elistratov V, Kudryasheva I. Regimes, management and economics of energy complexes on the basis of renewable energy sources for autonomous power supply. In: *International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems 2019: E3S Web of Conferences*. 2019;124. https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912404023
20. Kiushkina VR. Effects of RES involvement in the energy security monitoring of Russian northern and arctic zones. *Energeticheskaya politika = Energy policy.* 2018;4:109–117. (In Russ.)
21. Miroshnichenko A, Sirotkin E, Bodrova E. On the possibility to solve the problems of electrical power supply to autonomous consumers by using renewable energy sources. In: *International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies*. 1–4 October 2019, Vladivostok. Vladivostok: IEEE; 2019. https://doi.org/10.1109/FarEastCon.2019.8934390
22. Wang Qiang, Yang Xuan. Investigating the sustainability of renewable energy – An empirical analysis of European Union countries using a hybrid of projection pursuit fuzzy clustering model and accelerated genetic algorithm based on real coding. *Journal of Cleaner Production*. 2020;268. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121940
23. Azzuni A, Aghahosseini A, Ram M, Bogdanov D, Caldera U, Breyer C. Energy security analysis for a 100% renewable energy transition in Jordan by 2050. *Sustainability*. 2020;12(12). https://doi.org/10.3390/su12124921

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Лукутин Борис Владимирович,
доктор технических наук, профессор,
профессор Инженерной школы энергетики,
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, г. Томск, ул. Усова, 7, Россия;
✉ e-mail: lukutin48@mail.ru

Киушкина Виолетта Рафиковна,
доктор технических наук, доцент,
заместитель руководителя Департамента энергетической безопасности и специальных программ,
«Российское энергетическое агентство» Минэнерго России,
129085, г. Москва, ул. Мира 105/1, Россия;
ведущий научный сотрудник,
Научно-образовательный центр «Циркумполярная Чукотка», Чукотский филиал Северо-Восточного федерального университета,
689000, г. Анадырь, ул. Студенческая, 3, Россия;
e-mail: viola75@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Boris V. Lukutin,
Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Professor of the School of Energy and Power Engineering,
National Research Tomsk Polytechnic University,
7, Usov St., Tomsk 634050, Russia;
✉ e-mail: lukutin48@mail.ru

Violetta R. Kiushkina,
Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Deputy Head of the Department of Energy Security and Special Programs,
Russian Energy Agency of the Ministry of Energy of the Russian Federation,
105/1, Mira St., Moscow 129085, Russia;
Leading Researcher,
Educational Scientific Centre Circumpolar Chukotka,
Chukotka Branch of the North-Eastern Federal University,
3, Studencheskaya St., Anadyr 689000, Russia;
e-mail: viola75@mail.ru

Заявленный вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 17.07.2020; одобрена после рецензирования 12.11.2020; принята к публикации 26.02.2021.

Information about the article

The article was submitted 17.07.2020; approved after reviewing 12.11.2020; accepted for publication 26.02.2021.