

УДК 001.51

DOI: 10.46548/21vek-2022-1159-0005

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ РЕГИОНА

© Автор(ы) 2022

SPIN: 1480-2859

AuthorID: 818734

ORCID: 0000-0001-7603-9786

ResearcherID: ABI-4436-2020

ScopusID: 6601936733

БУРЛОВ Вячеслав Георгиевич, доктор технических наук,

профессор Высшей школы техносферной безопасности

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

(195251, Россия, Санкт-Петербург, улица Политехническая, 29, e-mail: burlovvg@mail.ru)

SPIN: 4537-1183

AuthorID: 1048304

ORCID: 0000-0003-2722-5552

ResearcherID: AAE-1582-2019

ScopusID: 57212553296

ПОЛЮХОВИЧ Максим Алексеевич, аспирант

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

(195251, Россия, Санкт-Петербург, улица Политехническая, 29, e-mail: polyuhovich_ma@spbstu.ru)

Аннотация. В связи с увеличением энергоемкости практически всех сфер жизнедеятельности человека вопрос об обеспечении безопасности электроснабжения становится все более первостепенным. Основная особенность передачи электроэнергии в условиях РФ заключается в значительном расстоянии от её источника до конечного потребителя. На протяжении всего участка линии электропередачи на элементы электроэнергетической сети воздействует огромное количество совершенно разнородных по своей природе факторов, среди которых выделяются гидрометеорологические факторы, особенно значимые ввиду территориального расположения и размеров России. Становится очевидным, что необходимо разработать систему, позволяющую своевременно реагировать на угрозы нарушения электроснабжения и устранять их. Среди известных методов системотехники наиболее подходящим для данных целей является подход на основе синтеза, главное достоинство которого заключается в возможности изначально заложить требуемый показатель эффективности системы, что в условиях неопределенности позволит достигать требуемой цели деятельности. В ходе проведенного исследования был осуществлен синтез системы обеспечения безопасности электроснабжения региона (СОБЭР) на основе системообразующего фактора – модели решения человека. СОБЭР включает три составляющие: электроэнергетическая система, геоинформационная система и система принятия решений, каждая из которых дает возможность получить характеристики процесса, позволяющие определить показатель эффективности системы или, наоборот, задать этот показатель на основе решения обратной задачи.

Ключевые слова: бесперебойное электроснабжение, системообразующий фактор, принятие решения, модель решения человека, геоинформационная система, электроэнергетическая система, системотехника, подход на основе синтеза, географические пространственные данные, показатель эффективности системы.

SYNTHESIS OF THE ELECTRIC POWER SUPPLY SAFETY ENSURING SYSTEM OF A REGION

© The Author(s) 2022

BURLOV Vyacheslav Georgievich, doctor of technical sciences, professor of Higher School of Technosphere Safety

POLYUKHOVICH Maxim Alekseevich, post-graduate student

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

(195251, Russia, St. Petersburg, street Polytechnicheskaya, 29, e-mails: burlovvg@mail.ru, polyuhovich_ma@spbstu.ru)

Abstract. Due to the increase in the energy intensity of almost all spheres of human activity, the issue of ensuring the safety of electricity supply is becoming more and more paramount. The main feature of the transmission of electricity in the conditions of the Russian Federation is a significant distance from its source to the end consumer. Throughout the entire section of the transmission line, the elements of the electric power network are affected by a huge number of factors that are completely heterogeneous in nature, among which hydrometeorological factors stand out, which are especially significant due to the territorial location and size of Russia. It becomes obvious that it is necessary to develop a system that allows you to respond in a timely manner to electric power failure threats and eliminate them. Among the known systems engineering methods, the most suitable for these purposes is the synthesis-based approach, the main advantage of which is the ability to initially set the required system performance indicator, which, under conditions of uncertainty, will allow achieving the required activity goal. In the course of the study, a synthesis of the electric power supply safety ensuring system of a region (EPSSSR) was carried out on the basis of a system-forming factor - a model of human de-

cision. EPSSES includes three components: an electric power system, a geoinformation system and a decision-making system, each of which makes it possible to obtain process characteristics that allow determining the system performance indicator or, conversely, to set this indicator based on solving the inverse problem.

Keywords: uninterrupted power supply, system-forming factor, decision making, human decision model, geographic information system, electric power system, system engineering, synthesis-based approach, geographic spatial data, system performance indicator.

Для цитирования: Бурлов В.Г. Синтез системы обеспечения безопасности электроснабжения региона / В.Г. Бурлов, М.А. Полюхович // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 3(59). – С. 32-38. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1159-0005.

Введение. В настоящее время, как отмечается многими исследователями [1-7], все масштабнее становится проблема обеспечения стабильного и качественного электроснабжения потребителей, которые варьируются от небольших населенных пунктов до градообразующих промышленных предприятий, что является актуальной задачей, стоящей перед руководством государства. В связи с особенностями как электроэнергетической системы (например, передача электроэнергии посредством воздушных линий электропередачи (ВЛЭП)), так и климатических и территориальных условий такой страны как Россия [8-10], вопросы разработки системы, гарантирующей бесперебойное электроснабжение, остаются актуальными до сих пор [11-14]. Статистические данные по аварийности в электроэнергетической системе [15, 16] ясно демонстрируют, что, несмотря на научно-технический прогресс во многих отраслях промышленности, подверженность состояния процесса передачи электроэнергии различным факторам не решена [17, 18]. Безусловно, среди всего комплекса факторов, значительнее остальных оказывающих влияние на количество и продолжительность перебоев в электроснабжении отдельной группой выделяются гидрометеорологические факторы [19-21], из которых можно назвать температуру окружающей среды, влажность, скорость ветра и т.д.

Учитывая вышесказанное, становится очевидным, что для предотвращения нарушения электроснабжения объектов необходимо разработать систему обеспечения безопасности электроснабжения региона (СОБЭР). В Постановление Правительства РФ от 16 февраля 2008 года № 86 [22] заложены положения о создании и функционировании штабов по обеспечению безопасности электроснабжения. Под «безопасностью электроснабжения» в данной работе понимается состояние процесса передачи электроэнергии посредством ВЛЭП, которое характеризуется вероятностью нарушения электроснабжения либо близкой к нулю, либо равной заранее установленному допустимому значению.

Объекты, составляющие окружающий мир, существуют в пространственно-временных координатах. Поэтому для обеспечения их безопасности необходимо разработать подход, который позволит формировать свойства множества требуемых пространственно-временных состояний системы,

обеспечивающей своевременное прогнозирование и предотвращение угрозы нарушения функционирования объекта на всех этапах его существования. Наиболее подверженным воздействию различных факторов окружающей среды элементом электроэнергетической отрасли являются ВЛЭП [2, 4-6]. Основная трудность, возникающая при обеспечении безопасности подобных территориально распределенных объектов, заключается в постоянной изменчивости климатических параметров обстановки.

Проблемы электроснабжения потребителей в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов окружающей среды вынуждают искать решение в применении современных технологий [6], которые способствуют принятию решений, обеспечивающих комплексную политику по управлению безопасностью электроснабжения. Однако такой подход, который обеспечивал бы взаимодействие передовых технологий с системой принятия решений при возникновении угроз нарушения электроснабжения, пока достаточно не проработан [23].

Из постановки вопроса об обеспечении безопасности электроснабжения в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов, вытекает задача прогнозирования гидрометеорологических факторов. Изменчивость характеристик процессов окружающей среды требует постоянного контроля и наблюдения, что уже предполагает использование автоматизированной информационной системы для обработки пространственно-временных данных, основой интеграции которых должна служить географическая информация. Необходимость моделирования поведения системы и ее компонентов требует выбора инструментов представления. В настоящее время в области обеспечения безопасности широко используются преимущества веб-технологий, искусственного интеллекта, интеллектуального анализа данных, параллельной обработки в реальном времени, геоинформационной системы (ГИС), дистанционного зондирования, мобильной и спутниковой связи [24-28]. Основываясь на научных исследованиях и передовой практике, реализуемой в настоящее время, ГИС признана научным сообществом как наиболее подходящий инструмент для сбора и преобразования географических пространственных данных [29], а также как инструмент для геопространственной

визуализации полученных результатов [30]. Геопространственное представление результатов используется как при принятии решений в реальных ситуациях [31], так и в пределах теоретических методов научного познания [32]. В рамках данного исследования наибольший интерес представляют географические пространственные данные, полученные при помощи ГИС.

Цель исследования – на основе системообразующего фактора осуществить синтез СОБЭР. Предполагается, что полученный результат внесет значительный научный вклад в развитие основ обеспечения безопасности электроснабжения.

Методология. В основе любой деятельности, которая осуществляется в трех системах (социальная, экономическая и технико-технологическая) лежит решение человека (академик АН СССР Моисеев Н.Н., 1981). Для поиска выхода из возникающих перед ним ситуаций человеку необходимо работать с тремя категориями: система, модель и предназначение (академик АМН СССР и АН СССР Анохин П.К., 1979). Таким образом, с целью гарантированного достижения цели деятельности, в данном случае обеспечения безопасности электроснабжения, нужно устранить две проблемы методологического уровня.

Первая проблема. В системотехнике для разработки системы применяют два подхода (Г. Гуд, Р. Макол, 1957):

- подход на основе анализа (характеризуется простым перебором вариантов);
- подход на основе синтеза (необходимо знать закон построения и функционирования системы).

На практике наиболее распространен первый подход, но при его применении не всегда удается достичь поставленных целей [33, 34]. Поэтому для разработки СОБЭР рекомендуется применять второй подход, который основан на синтезе. В качестве инструмента, позволяющего осуществить данную идею, можно рассмотреть закон сохранения целостности объекта (ЗСЦО) [35], который на протяжении нескольких лет активно прорабатывается научно-педагогической школой «Системная интеграция процессов государственного управления», зарегистрированной в реестре научно-педагогических школ (г. Санкт-Петербург [36]).

Вторая проблема. Человек как лицо, принимающее решение (ЛПР) решает задачи на основе модели (Майкл А. Арбиб, 1964; академик АМН СССР и АН СССР Анохин П.К., 1979). Очевидно, что возникает необходимость синтезировать адекватные сложившейся обстановке модели [37]. Адекватность модели может быть оценена путем применения трех подходов [38, 39]: проверка на практике, сравнение с эталоном, полнота учета основных закономерностей предметной области. Для решения поставленной в данном исследовании задачи целесообразно использовать третий подход, но здесь возникает сложность в поиске закона, позволяющего учитывать основные закономерности рассматриваемого про-

цесса. Предлагается использовать ЗСЦО.

Из вышесказанного следует, что для ЛПР необходимо иметь условие существования процесса электроснабжения региона. И, если передача электроэнергии осуществляется, то можно говорить о том, что обеспечивается безопасность электроснабжения. При этом согласно ЗСЦО решение должно быть получено на основе системной интеграции свойств мышления человека, свойств объектов окружающего мира и всеобщей связи явлений. Так как ЛПР осуществляет свою деятельность на основе модели, то, чтобы деятельность, осуществляемая человеком, соответствовала сложившейся обстановке, требуется иметь математическую модель решения ЛПР. Аналогичная ситуация характерна и для случая разработки системы: необходимо располагать критерием правильно построенной системы.

Системы обеспечения безопасности довольно чувствительны к принятию определенного решения, так как от этого решения зависит то, в каком состоянии будет находиться система. Очевидно, что для создания рационально организованной системы необходимо иметь математическую модель решения ЛПР. В исследовании [40] она уже была получена авторами в виде показателя эффективности системы управления электроснабжением.

Принятое определение понятия «решение» как выбора альтернатив страдает концептуальной неполнотой (Дружинин В.В., Конторов Д.С.). Согласно Анохину П.К. для получения результатов, гарантирующих достижение цели деятельности, необходимо иметь системообразующий фактор (СОФ). В технико-технологических системах СОФ является моделью решения человека. Получить СОФ позволяет применение ЗСЦО. При наличии СОФ решение основано на выборе упорядоченных СОФ альтернатив, и, напротив, при его отсутствии принятие решения осложнено в виду многообразия выбора и беспорядочности альтернатив.

Результаты. В исследовании [40] был получен граф состояния системы обеспечения безопасности электрических сетей с учетом квалификации руководителя. Данные результаты можно использовать для подхода на основе синтеза с целью разработки СОБЭР. Так как в данном исследовании основной интерес представляет безопасность электроснабжения именно региона, то в качестве основного руководящего органа будет рассматриваться штаб по обеспечению безопасности электроснабжения (своего рода ЛПР). Очевидно, что штаб по обеспечению безопасности электроснабжения в процессе своей деятельности реализует два процесса: идентифицирует или нейтрализует угрозу нарушения электроснабжения.

Таким образом, состояния графа [40] описываются следующим образом (рис. 1): состояние «1» – штаб по обеспечению безопасности электроснабжения не идентифицирует и не нейтрализует угрозу нарушения электроснабжения; состояние «3» – штаб по обеспечению безопасности электроснабжения

идентифицирует и не нейтрализует угрозу нарушения электроснабжения; состояние «4» – штаб по обеспечению безопасности электроснабжения не идентифицирует и не нейтрализует угрозу нарушения электроснабжения; состояние «2» – штаб по обеспечению безопасности электроснабжения идентифицирует и не нейтрализует угрозу нарушения электроснабжения. Переходы между состояниями характеризуются определенными переменными, оперируя которыми можно достичь требуемой цели деятельности (обеспечить безопасность электроснабжения): ΔT – среднее время выполнения целевой задачи (электроснабжение потребителей); ΔT_{CP} – среднее время срыва целевой задачи (среднее время перерыва в электроснабжении потребителей); Δt_{PY} – среднее время появления угрозы нарушения электроснабжения; Δt_{IY} – среднее время идентификации угрозы нарушения электроснабжения; Δt_{NY} – среднее время нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения; Δt_{CP} – среднее время ошибочного выполнения действий по устранению угрозы нарушения электроснабжения штабом по обеспечению безопасности электроснабжения по причине невозможности распознать ситуацию (показатель квалификации руководителя).

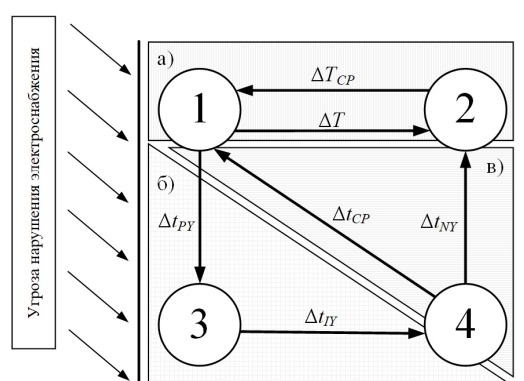


Рисунок 1 – СОБЭР (компоненты:
а) электроэнергетическая система;
б) геоинформационная система; в) система принятия
решений) (составлено авторами)

Наибольший интерес в рамках данного исследования представляет собой состояние «2», так как в этом случае все угрозы нарушения электроснабжения, возникающие в контуре СОБЭР, идентифицированы и нейтрализованы, то есть объекты электроэнергетической системы выполняют свое предназначение – стабильное электроснабжение потребителей. В рамках принятой терминологии вероятность нахождения СОБЭР в состоянии «2» – требуемый показатель эффективности системы обеспечения безопасности, что и является необходимым условием существования процесса электроснабжения региона, то есть это СОФ.

Учитывая, что рассматривается поток событий, аналогичный потоку Пуассона, и, применяя систему дифференциальных уравнений Колмогорова-Чепмена, можно определить вероятность нахождения СОБЭР в

каждом из четырех состояний. Таким образом, СОФ СОБЭР может быть представлен в следующем виде:

$$P_2 = \frac{a + b + c}{d + e + f + a + g + b + c + h} \quad (1)$$

где $a = \Delta T \cdot \Delta t_{CP} \cdot \Delta t_{IY}$; $b = \Delta T \cdot \Delta t_{NY} \cdot \Delta t_{IY}$; $c = \Delta t_{PY} \cdot \Delta t_{IY} \cdot \Delta t_{IY}$; $d = \Delta t_{PY} \cdot \Delta T_{CP} \cdot \Delta t_{CP}$; $e = \Delta t_{PY} \cdot \Delta T_{CP} \cdot \Delta t_{NY}$; $f = \Delta t_{PY} \cdot \Delta T_{CP} \cdot \Delta t_{IY}$; $g = \Delta T_{CP} \cdot \Delta t_{CP} \cdot \Delta t_{IY}$; $h = \Delta T_{CP} \cdot \Delta t_{NY} \cdot \Delta t_{IY}$.

Используя СОФ и подход на основе синтеза, СОБЭР представлена в виде, показанном на рисунке 1. Одним из главных преимуществ подхода на основе синтеза является то, что разработчик системы может заранее определить свойства, характеристики и условия использования системы, при которой эффективность этой системы будет оптимальной (требуемой или максимальной) в смысле выбранного критерия.

Значения показателей ΔT , ΔT_{CP} задаются в СОБЭР, они зависят от характеристик самой электроэнергетической системы (задаются требованиями к электроснабжению потребителей). Значения показателей Δt_{PY} и Δt_{IY} поступают из блока обработки географических пространственных данных ГИС. При этом Δt_{PY} зависит от гидрометеорологических условий на рассматриваемой территории в конкретный промежуток времени, в то время как Δt_{IY} фактически задается штабом по обеспечению безопасности электроснабжения (для достижения необходимого показателя эффективности СОБЭР). Показатели Δt_{NY} и Δt_{CP} обусловлены параметрами системы принятия решений, так как полностью зависят от штаба по обеспечению безопасности электроснабжения и электротехнического персонала. Показатель Δt_{CP} задается исходя из опыта и квалификации членов штаба по обеспечению безопасности электроснабжения.

В контексте СОБЭР взаимодействие между компонентами (электротехническая система, геоинформационная система, система принятия решений) требует единой модели, которая объединит основные структурные элементы, чтобы обеспечить адекватное формирование процесса принятия решений (рис. 2). Интеграция ГИС и электроэнергетической системы позволяет автоматически оценивать ситуацию на определенной территории и принимать необходимые меры по устранению возможной угрозы нарушения электроснабжения. Синтез всех трех компонентов в виде единой СОБЭР позволяет оптимизировать и упростить процессы принятия решений и повысить их эффективность. Анализируя данные, полученные при помощи ГИС, и проецируя результаты на регион электроснабжения с привязкой к объектам электроэнергетической системы, можно, используя такие составляющие системы принятия решений как декларативное знание (требования стандартов, руководящие документы), знание технологического процесса (программа поиска неисправностей, аналитический метод), стратегическое знание (надежность элементов, суррогатная модель), идентифицировать возможную угрозу нарушения электроснабжения и принять своевременные предупреждающие меры.



Рисунок 2 – Структурное взаимодействие компонентов СОБЭР (составлено авторами)

Обсуждение. Обеспечение безопасности электроснабжения является довольно трудной задачей [3, 5, 6, 23]. На данный момент все известные системы обеспечения безопасности проектируются с использованием подхода на основе анализа [24]. Главный недостаток такого подхода заключается в оценке результата функционирования системы при заданных ее свойствах и условиях применения. При этом вычисляются и анализируются показатели эффективности. То есть в данном случае ЛПП изначально не состоянием заложить в систему требуемый показатель эффективности, и ему приходится полагаться на то, что предпринимаемые действия позволят достичь желаемого эффекта [8, 10]. Например, при обледенении ВЛЭП одним из ключевых действий может являться профилактический подогрев проводов (до образования гололедно-изморозевых отложений) или плавка гололеда (после образования гололедно-изморозевых отложений). По сигналам датчиков, установленных на ВЛЭП, через время, требующееся на образование толщины гололедной муфты, превышающей допустимое значение, плюс время, необходимое на распознавание обстановки, ЛПП фиксирует необходимость начать действия по устранению угрозы нарушения электроснабжения. В данной ситуации время появления, идентификации и нейтрализации угрозы может меняться в неопределенном диапазоне, из-за чего вероятность того, что угроза нарушения электроснабжения идентифицирована и нейтрализована, может приближаться к нулю.

Подход на основе синтеза является наиболее предпочтительным для систем обеспечения безопасности, так как в данном случае ЛПП заранее имеет представление, какие действия он должен предпринять, чтобы достичь поставленной цели. Например, согласно (1), устанавливая показатель эффективности СОБЭР P_2 , ЛПП определяет допус-

тимое среднее время идентификации угрозы нарушения электроснабжения (заранее определяя способ мониторинга обстановки – использовать показания датчиков на ВЛЭП или осуществить осмотр при помощи беспилотных летательных аппаратов), и в случае возникновения реальной угрозы он может гарантировать, что безопасность электроснабжения будет обеспечена. Предложенная в рамках данного исследования СОБЭР обладает рядом преимуществ, среди которых возможность оперировать средними временами идентификации и нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения и задавать необходимый показатель эффективности системы.

Несомненно, что упреждающее снижение вероятности перебоев в электроснабжении является предпочтительным и гораздо более эффективным во всех аспектах, исключают необходимость в привлечении аварийных служб для оперативного реагирования и восстановления объектов электроэнергетической системы. Следовательно, стратегии планирования и предотвращения срыва процесса передачи электроэнергии должны включать краткосрочный, среднесрочный и долгосрочный мониторинг и оценку вариаций такого срыва. Для определения требуемого уровня обеспечения безопасности электроснабжения региона должны определяться и исследоваться определенные критерии: экономические (перебои в функционировании объектов электроэнергетики и потери их производительности, повреждение имущества критически важной инфраструктуры, прекращение электроснабжения социально значимых объектов (общественные здания, школы, больницы), сетей связи и т.п.), социальные (гибель и ранение людей при нахождении вблизи поврежденного участка воздушной линии электропередачи, потребность людей в краткосрочной или долгосрочной помощи после прекращения электроснабжения), воздействие

на окружающую среду (гибель и ранение животных, пожар), и другие (политические последствия, потеря доверия к местным властям и т.д.). Кроме того, СОБЭР для снижения вероятности возникновения угрозы нарушения электроснабжения должна включать методологию мониторинга и оценки эффективности различных предпринятых мер с использованием показателей эффективности решений, таких как прямые потери, косвенные затраты, затраты на реализацию предупреждающих мер и другие возможные косвенные выгоды, отрицательные и (или) положительные побочные эффекты.

Выводы. Результатом проведенного исследования является структура СОБЭР, в основу которой был положен СОФ (модель решения человека). Принятие решения как выбор упорядоченных СОФ альтернатив позволяет гарантировать бесперебойное электроснабжение региона в условиях воздействия различных факторов окружающей среды, в том числе гидрометеорологических. Предложенный подход на основе синтеза для разработки систем обеспечения безопасности гарантирует достижение цели деятельности.

В дальнейших исследованиях предполагается раскрыть более подробно взаимосвязи между компонентами СОБЭР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Седнев, В.А. Пути повышения надёжности электроснабжения сельских потребителей / В.А. Седнев // Пожары и ЧС. – 2018. – №1. – С. 58-62.
2. Воскобоев, В.Ф. Об устойчивом функционировании объекта электроснабжения в условиях чрезвычайных ситуаций / В.Ф. Воскобоев, А.Ю. Лебедев // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2019. – №4 (43). – С. 106-111.
3. Колесников, Д.Г. Единое управление электроэнергетической отраслью – условие устойчивой работы энергосистем и надежного электроснабжения потребителей / Д.Г. Колесников // Вестник Адлгейского государственного университета. Серия 5: Экономика. – 2022. – №1 (215). – С. 54-60.
4. Антонов, Ю.М. Методологические аспекты развития систем децентрализованного электроснабжения сельских потребителей, в том числе животноводческих объектов / Ю.М. Антонов // Техника и технологии в животноводстве. – 2017. – №3 (27). – С. 65-68.
5. Белов, О.А. Состояние электроэнергетики Камчатского края и перспективы ее развития / О.А. Белов // Вестник ЮУрГУ. Серия: Энергетика. – 2021. – №4. – С. 48-56.
6. Karpachevskiy, A.M. GIS-analysis of the Ural power grid vulnerability to the impact of sleet and wind / A.M. Karpachevskiy, O.G. Filippova, P.E. Kargashin // Geography, Environment, Sustainability. – 2022. – №15(1). – P. 14-25.
7. Gubanov, M.M. Assessment of rational options for energy supply to remote consumers of the Arctic zone in the context of the development of renewable energy / M.M. Gubanov, V.V. Potemkin, D.E. Morkovkin, S.V. Shmanev // Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – № 723(5). – P. 052042.
8. Будникова, И.К. Компьютерное моделирование показателей надежности систем электроснабжения / И.К. Будникова, Е.В. Приймак // Вестник Казанского технологического университета. – 2017. – №5. – С. 76-79.
9. Степанов, В.М. Структура системы неразрушающего контроля параметров высоковольтных ЛЭП / В.М. Степанов, С.В. Ершов, В.Ю. Непомнящий, А.О. Шарлай // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2021. – №12. – С. 16-20.
10. Чернов, О.И. Современное состояние электрических сетей России и перспективы развития / О.И. Чернов, Е.А. Елисеева // Academy. – 2021. – №7 (70). – С. 20-22.
11. Шпиганович, А.Н. Провалы напряжения в системах электроснабжения / А.Н. Шпиганович, А.А. Шпиганович, И.И. Богомолов // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2018. – №12. – С. 7-12.
12. Туйчиев, З.З. Проблемы качества электроэнергии в системах электроснабжения / З.З. Туйчиев, И.К. Исмоилов, Д.А. Турсунов, Б.Б. Бойназаров // Проблемы науки. – 2019. – №10 (46). – С. 15-18.
13. Луковенко, А.С. Методы расчета надежности системы электроснабжения / А.С. Луковенко, И.В. Зеньков // Вестник ИрГТУ. – 2021. – №1 (156). – С. 57-65.
14. Кирпичникова, И.М. Обеспечение бесперебойного электроснабжения высокотехнологичных предприятий / И.М. Кирпичникова, С.С. Шипилов // Вестник ЮУрГУ. Серия: Энергетика. – 2022. – №1. – С. 55-61.
15. Тряпицын, А.Б. Анализ аварийности и травматизма в электроэнергетике Российской Федерации / А.Б. Тряпицын, И.М. Кирпичникова, В.Ф. Бухтояров, Г.А. Круглов // Вестник ЮУрГУ. Серия: Энергетика. – 2018. – №4. – С. 30-40.
16. Саликова, Н.С. Статистика аварий и отказов в электрических сетях Егиндыкольской районной электросети / Н.С. Саликова, О.В. Савин // НИР/S&R. – 2020. – №3. – С. 48-51.
17. Raza, M.A. Holistic and scientific approach to the development of sustainable energy policy framework for energy security in Pakistan / M.A. Raza, K.L. Khatri, M.I. Ul Haque, M. Shahid, K. Rafique, T.A. Waseer // Energy Reports. – 2022. – №8. – P. 4282-4302.
18. Ahmad, T. Energetics systems and artificial intelligence: Applications of industry 4.0 / T. Ahmad, H. Zhu, D. Zhang, R. Tariq, A. Bassam, F. Ullah, S.S. Alshamrani // Energy Reports. – 2022. – №8. – P. 334-361.
19. Козлов, А.В. Анализ аварийности сельских электрических сетей 0,38 кВ в ООО «АКС» «АМУРЭЛЕКТРО-СЕТЬСЕРВИС» / А.В. Козлов, И.С. Шевцов // Инновационная наука. – 2021. – №7. – С. 50-54.
20. Грабчак, Е.П. Надежное электроснабжение – это приоритет для всех энергетиков / Е.П. Грабчак // ЭП. – 2021. – №7 (161). – С. 4-9.
21. Сбитнев, Е.А. Анализ аварийности сельских электрических сетей 0,38 кв нижегородской энергосистемы / Е.А. Сбитнев, М.С. Жукин // Вестник НГИЭИ. – 2020. – №11 (114). – С. 36-47.
22. Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 № 86 (ред. от 30.04.2022) «О штабах по обеспечению безопасности электроснабжения».
23. Антропова, В.Р. Разработка вероятностной модели кратковременных нарушений электроснабжения / В.Р. Антропова, И.С. Сухачев, В.В. Сушков, А.С. Мартыанов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2021. – №2. – С. 76-85.
24. Ширшов, В.Д. Современные технологии безопасности жизнедеятельности / В.Д. Ширшов // Sciences of Europe. – 2019. – №36-3 (36). – С. 48-51.
25. Oubennaceur, K. Flood risk communication using Arc-GIS StoryMaps / K. Oubennaceur, K. Chokmani, A.E. Alem, Y. Gauthier // Hydrology. – №20218(4).
26. Hawash, E. Change detection and urban expansion of Port Sudan, Red Sea, using remote sensing and GIS / E. Hawash, A. El-Hassanin, W. Amer, A. El-Nahry, H. Effat // Environmental Monitoring and Assessment. – 2021. – №193(11).
27. Chukwuma, E.C. A GIS based flood vulnerability modelling of Anambra State using an integrated Ivfrn-Dematel-Anp Model / E.C. Chukwuma, C.C. Okonkwo, J.O. Ojedian, D.C. Anizoba, J.I. Ubah, C.P. Nwachukwu // Heliyon. – 2021. – №7(9).
28. Li, D. A city monitoring system based on real-time communication interaction module and intelligent visual information collection system / D. Li, B. Qin, W. Liu, L. Deng // Neural Processing Letters. – 2021. – №53(4). – P. 2501-2517.
29. Urquiza, J.A. A structured data flow system for photogrammetric mapping: the foundation of a citywide Cadastral works / J.A. Urquiza, C. Mugnier // Paper presented at the ACM International Conference Proceeding Series. – 2020. – Part F168981. – P. 108-116.
30. Мыслыва, Т.Н. Использование функциональных возможностей ГИС и данных дистанционного зондирования для мониторинга и картографирования мелиорированных земель / Т.Н. Мыслыва, Ю.Н. Дуброва, А.С. Кукреш, Т.Н.

Ткачева, Д.М. Лейко // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – №1. – С. 176-183.

31. Медведенко, С.А. Визуальный анализ данных пассажиропотока железнодорожного транспорта / С.А. Медведенко, Д.Е. Намиот // International Journal of Open Information Technologies. – 2021. – №6. – С. 51-60.

32. Борисов, Д.А. Методика определения пространственно-временного состояния техногенных объектов / Д.А. Борисов // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2017. – №7. – С. 14-18.

33. Васильев, Ю.С. Теории систем и системный анализ: истоки и перспективы / Ю.С. Васильев, В.Н. Волкова, В.Н. Козлов // SAEC. – 2021. – №1. – С. 7-29.

34. Shirali, G.A. A framework for quantitative assessment of socio-technical resilient systems using Multiple Criteria Decision Making (MCDM): a case study in an oil site / G.A. Shirali, Y.T. Birgani, D. Afshari, L.M. Salahi // Iran Occupational Health. – 2020. – №17(1).

35. Бурлов, В.Г. Закон сохранения целостности объекта – методологическая основа решения задач информационной войны и обеспечения безопасности / В.Г. Бурлов // В книге: Нейрокомпьютеры и их применение. Тезисы докладов. – 2017. – С. 261-263.

36. Бабкин, А.В. Сотрудники СПБГПУ — руководители научных и научно-педагогических школ / А.В. Бабкин // Материаловедение. Энергетика. – 2014. – №1. – С. 243-245.

37. Wiedeman, C. Modeling of moral decisions with deep learning / C. Wiedeman, G. Wang, U. Kruger // Visual Computing for Industry, Biomedicine, and Art. – 2020. – №3(1).

38. Мельников, Ю.Б. Улучшение адекватности экономических моделей / Ю.Б. Мельников, Е.А. Онохина, С.А. Шитиков // Journal of new economy. – 2018. – №1. – С. 94-106.

39. Шевчук, В.П. Проверка адекватности математических моделей теплоэнергетических объектов / В.П. Шевчук, Е.Л. Еремина, Е.Ю. Силаева // ИВД. – 2019. – №6 (57). – С. 10.

40. Burlov, V. Safety management of the electric power supply process of the construction site, taking into account the qualification of the manager / V. Burlov, V. Mankov, M. Polyukhovich // Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – №890(1).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90225.

Статья поступила в редакцию 08.07.2022

Статья принята к публикации 16.09.2022