

ПРИНЦИПЫ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНО ОБОСОБЛЕННОГО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА С ПОЗИЦИЙ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

В статье рассматриваются вопросы применения системного анализа при исследовании изолированных электротехнических комплексов и систем генерирования электрической энергии, обладающих признаками общности. Для таких совокупностей, с позиций системного анализа, вводится понятие «регионально обособленный электротехнический комплекс». Доказывается, что анализируемый электротехнический комплекс есть сложная техническая система. Применительно к регионально обособленному электротехническому комплексу, дается содержательная интерпретация следующих принципов теории системного анализа: эмерджентность, оптимальность и эквивиальность. На базе системного подхода предложен интегральный показатель удельной приведенной стоимости выработанной электроэнергии (levelized cost of electricity in the region — LCOER). Данный показатель непосредственно применим к рассматриваемому в статье объекту. На базе показателя LCOER предложена методика оптимального проектирования и эксплуатации регионально обособленного электротехнического комплекса. Ее применение позволяет снизить общие расходы регионально обособленного электротехнического комплекса на протяжении всего жизненного цикла на 5–15 %, при сохранении заданных объемов, качества и надежности производства электрической энергии.

Ключевые слова: системный анализ, регионально обособленный электротехнический комплекс, сложная техническая система, удельная приведенная стоимость выработанной электроэнергии, оптимизация.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства ХМАО — Югры в рамках научного проекта № 18-47-860017.

Введение. Проект Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года (Стратегия) содержит ряд «целей и приоритетов направления развития энергетики, в том числе структурную диверсификацию, в рамках которой: централизованное энергоснабжение дополнится децентрализованным» [1, с. 7]. Одновременно будет осуществляться «оптимизация пространственного размещения энергетической инфраструктуры Восточной Сибири, на Дальнем Востоке и в Арктической зоне Российской Федерации, в том числе путем перехода к приоритетам экологически чистой и ресурсосберегающей энергетики, рациональному природопользованию и энергетической эффективности» [1, с. 7–8]. Одним из инструментов достижения, отмеченных выше целей Стратегии, принимается возобновляемая энергетика (ВИЭ). Перед ВИЭ, в свою очередь, ставится задача пространственного и регионального развития при одновременном «повышении эффективности энергоснабжения удаленных и изолированных территорий» [1, с. 54–55]. В качестве показателя степени развития

возобновляемой энергетики Стратегией предлагается «снижение экономически обоснованных затрат на производство 1 кВт·ч электрической энергии на территориях децентрализованного электроснабжения» [1, с. 55].

Энергетическая инфраструктура Сибири, Дальнего Востока, Арктической зоны характеризуется децентрализованным энергоснабжением для более 4,5 миллиона человек. Применение здесь дизельных электростанций (ДЭС) требует горюче-смазочных материалов (ГСМ), только на жилищно-коммунальные нужды более 1,2 млн тонн в год. Затраты на доставку ГСМ (авиация, строительство зимников, использование Северного морского пути) приводят к повышению себестоимости производства электрической энергии до 25–75 рублей за кВт·ч, и создают повышенные технические, экономические, экологические и социальные риски [2, 3].

Постановка задачи. Ранее принятое определение «Регионально обособленный электротехнический комплекс (РОЭТК) — это обособленная совокупность изолированных систем электроснабжения

(ИСЭ)» [4], дополним следующими определяющими РОЭТК признаками:

— каждая ИСЭ рассматриваемой совокупности содержит электротехнический комплекс генерирования электрической энергии, включая ВИЭ;

— все ИСЭ рассматриваемой совокупности являются неотъемлемыми составными частями РОЭТК;

— все ИСЭ рассматриваемой совокупности электрически между собой не связаны;

— все ИСЭ рассматриваемой совокупности связаны между собой взаимными слабыми связями и слабыми взаимодействиями (ССиСВ), включая информационные и коммуникативные;

— все ИСЭ, входящие в РОЭТК, имеют общую конечную цель и обеспечивают эффективное и безопасное функционирование РОЭТК в широком диапазоне внешних воздействий.

Отметим, в настоящей работе под слабыми связями и слабыми взаимодействиями понимаются неэлектрические взаимодействия между ИСЭ, присутствующие только рассматриваемой совокупности ИСЭ: информационные, коммуникативные, административные, логистические, экономические, экологические, социальные, правовые и другие. Причем все указанные ССиСВ влияют на электроэнергетические показатели РОЭТК и его компонент: качество электрической энергии, коэффициент полезного действия, энергетическая эффективность, надежность электроснабжения.

Возникающие в этом случае задачи, связанные с разработкой и анализом смешанных моделей объединяющих подсистемы различной физической природы, часто и успешно решают применением сети конечных элементов [5]. Достаточно указать на задачи типа «цепь – поле». В то же время наличие ССиСВ требует применения методов декомпозиции с неизбежным изменением степени адекватности моделирования отдельных компонент системы [6], либо требуется разработка специализированной методики.

Теория. Конечная цель функционирования РОЭТК — передача электрической энергии потребителям, осуществляется в данном случае отдельными ИСЭ, через взаимодействие составляющих ИСЭ физически разнородных подсистем преобразования энергии [7], включая ВИЭ и их компоненты. Соответственно, математическое моделирование РОЭТК, как совокупности взаимодействующих физически разнородных подсистем (компонент), предопределяет появление таких вычислительных свойств, как «детерминированный хаос, нелинейность, гетерогенность, частичная стохастичность, неопределенность, петли обратной связи (циклы), жесткость» [7, 8]. Одновременно на качество функционирования ИСЭ оказывают существенное влияние присутствующие рассматриваемой РОЭТК ССиСВ.

Введенное выше определение РОЭТК позволяет трактовать слабые связи и слабые взаимодействия, как элемент разнообразных внешних воздействий. Отмеченные выше характерные особенности РОЭТК с необходимостью приводят к следующему утверждению.

Утверждение. РОЭТК суть «сложная техническая система (СТС), представляющая собой совокупность взаимодействующих, функционально самостоятельных и физически разнородных подсистем, предназначенных для достижения общей (конкретной) цели». Данное утверждение полностью коррелируется с понятием сложной техниче-

ской системы, введенным в ГОСТ 22.2.04-2012 (раздел 3. Термины и определения) [9].

Поскольку, как установлено выше, РОЭТК является разновидностью сложной технической системы (СТС РОЭТК), то решение задач стратегии ее проектирования и эксплуатации на протяжении всего жизненного цикла «необходимо осуществлять на основе принципов системного анализа» [10].

Общие принципы и методы системного анализа (МСА), сопутствующий математический аппарат достаточно разработаны для больших энергосистем [11, 12]. Рассматриваемые в настоящей работе ЭТКГ относятся к малой энергетике и обладают существенными особенностями: в сфере их математического моделирования [13, 14], оптимизации и идентификации [15–17], учета региональных особенностей [18–20], построения гибридных комплексов [21, 22]. Следовательно, существующий понятийный аппарат МСА требует адаптации для непосредственного применения к СТС РОЭТК. В этом направлении автором предлагается проблемно-ориентированная интерпретация ряда базовых принципов МСА. Предлагаемые далее формулировки носят синтетический характер, интегрирующий известные теоретические положения теории систем и системного анализа [11, 12, 23], опыт работ по проектированию и эксплуатации ИСЭ, содержащих ВИЭ [13–22] и принятое в настоящей работе определение СТС РОЭТК.

Принцип оптимальности. Здесь СТС РОЭТК рассматривается как многопараметрическая система, ее работоспособность и качество функционирования в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях на протяжении всего жизненного цикла задается интегральным целевым показателем, который отвечает задаче наилучшего достижения общей (конкретной) цели.

Принцип эмерджентности. Здесь фиксируется появление у СТС РОЭТК интегральных свойств, отсутствующих у ее отдельных компонент. При моделировании это обстоятельство порождает возможность несовпадения локальных оптимумов целевых показателей ИСЭ, входящих в анализируемую СТС РОЭТК, с глобальным оптимумом интегрального целевого показателя всей СТС РОЭТК. Указанное рассогласование усиливается с ростом числа уровней и компонент системы. Соответственно, в целях достижения глобальных оптимальных результатов, необходимо принимать решения и вести разработки по совершенствованию системы не только на основе данных анализа ее отдельных компонент (как правило, отдельных ИСЭ), но и на основании структурного и параметрического синтеза всей СТС РОЭТК и ее оптимизации в целом.

Отметим, что анализ состава, функций, структурирование и параметрический синтез и оптимизацию сложной технической системы РОЭТК целесообразно проводить на принципах энергетического подхода, развитого в [7].

Принцип эквивалентности. СТС РОЭТК может достигнуть требуемой работоспособности и качества функционирования в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях, определяемых исключительно собственными характеристиками системы и интегральным целевым показателем функционирования СТС РОЭТК, при различных начальных условиях и различными путями. Указанное обстоятельство приводит к необходимости многовариантного подхода при разработке алгоритмов эффективного управления.

Анализ сформулированных выше принципов показывает, что качество функционирования СТС РОЭТК, удовлетворяющее надсистему, в которую входит СТС РОЭТК, достижимо лишь при построении интегрального целевого показателя, обеспечивающего достижение конкретной цели надсистемы в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях.

В этом плане широкими возможностями для электротехнических комплексов и систем генерирования электрической энергии располагает известный подход, базирующийся на показателях «удельной приведенной стоимости выработанной электроэнергии (Levelized Cost of Electricity — LCOE)» [24, 25]. При «классическом» конструировании LCOE для каждой ИЭС выполняется покомпонентный учет затрат инвестиционного и операционного характера на протяжении всего жизненного цикла:

$$LCOE_i = \frac{\sum_{t=1}^T \frac{IR_i(t) + OR_i(t) + FR_i(t)}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{ER_i(t)}{(1+r)^t}}, \quad (1)$$

где $IR_i(t)$, $OR_i(t)$ — инвестиционные и операционные расходы; $FR_i(t)$ — расходы на ГСМ; $ER_i(t)$ — производство электрической энергии ИЭС; t — текущий год; T — длительность жизненного цикла РОЭТК; r — ставка дисконтирования (в некоторых исследованиях принимается равной ставке рефинансирования); i — порядковый номер ИЭС.

Прямое применение критерия LCOE (1), для решения проблемы минимизации себестоимости производства электрической энергии всего РОЭТК, сводится к поиску методами оптимизации компонент вектора

$$\text{MIN}_{LCOE} = \{\text{MIN}_{LCOE1}, \dots, \text{MIN}_{LCOEi}, \dots, \text{MIN}_{LCOEIP}\}, \quad (2)$$

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^T \frac{IRS[t, G(WI), E(W)] + ORS[t, G(WI), E(W)] + FR_S[t, G(WI), E(W)]}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{ERS[t, G(WI), E(W)]}{(1+r)^t}}, \quad (4)$$

где $G(WI)$ — функционал, учитывающий слабые связи и слабые взаимодействия, суточные графики нагрузки и другие внешние воздействия [29], влияющие на коэффициенты полезного действия и электроэнергетические характеристики компонент ИЭС, входящих в РОЭТК; $E(W)$ — функционал, учитывающий внутренние энергетические связи компонент ИЭС, входящих в РОЭТК, в том числе коэффициенты полезного действия и другие электроэнергетические характеристики [7]; $IRS[t, G(WI), E(W)] = \sum_i^{IP} IR_i[t, G(WI), E(W)]$ — инвестиции в РОЭТК; $IR_i[t, G(WI), E(W)]$ — инвестиции в ИЭС поселения « i »; $ORS[t, G(WI), E(W)] = \sum_i^{IP} OR_i[t, G(WI), E(W)]$ — операционные расходы и расходы на техническое обслуживание РОЭТК; $OR_i[t, G(WI), E(W)]$ — операционные расходы и расходы на техническое обслуживание ИЭС поселения « i »; $FR_S[t, G(WI), E(W)] = \sum_i^{IP} FR_i[t, G(WI), E(W)]$ — расходы РОЭТК на ГСМ; $FR_i[t, G(WI), E(W)]$ — расходы ИЭС поселения « i » на ГСМ; $ERS[t, G(WI), E(W)] = \sum_i^{IP} ER_i[t, G(WI), E(W)]$ — производство электрической энергии РОЭТК, кВт·ч; $ER_i[t, G(WI), E(W)]$ — производство электрической энергии ИЭС поселения « i », кВт·ч.

где MIN_{LCOEi} — глобальный минимум $LCOE_i$ определенный для « i »-й ИЭС входящей в анализируемый РОЭТК. По сути, подход (1)–(2) строится на допущении о том, что РОЭТК — «суммативная система, интегральная эффективность которой ($E_{\text{РОЭТК}}$) определяется суммой взвешенных частных эффективностей ее компонентов ($E_{\text{ИЭС}}$)» [26], тогда приходим к соотношению:

$$E_{\text{РОЭТК}} = \sum_{i=1}^{IP} E_{\text{ИЭС}i} = \sum_{i=1}^{IP} k_i \text{MIN}_{LCOEi}, \quad (3)$$

где $k_i (\sum_{i=1}^{IP} k_i = 1)$, IP — количество ИЭС в РОЭТК.

В литературе широко представлены положительные результаты применения указанного критерия (1) к единичным объектам [27, 28].

В то же время допущение, что РОЭТК есть суммативная система, приводит к нарушению принципов системности, иерархии, оптимальности и других. В свою очередь, нарушение, например, принципа эмерджентности ведет к эквивалентированию глобального оптимума РОЭТК соотношению (3).

Указанные обстоятельства часто приводят к некорректным результатам в области проектирования, создания и эксплуатации анализируемой системы.

Соответственно, для решения комплексной задачи регионального развития [1, с. 54, 55] становится актуальным построение «отраслевой модификации критерия LCOE», ориентированной на применение к электротехническому комплексу РОЭТК в целом и одновременно учитывающей принципы системного анализа сложной технической системы.

В данном направлении автором предлагается модификация критерия (1), называемая в дальнейшем «Интегральный показатель удельной приведенной стоимости выработанной электроэнергии РОЭТК (LCOER)»:

Структура предложенного критерия LCOER позволяет позиционировать его как инструмент оценки обоснованности совокупности технических, технологических, экономических, экологических и социальных решений в области проектирования, создания и эксплуатации регионально обособленных электротехнических комплексов и систем.

Обсуждение результатов. Из предложенных выше, применительно к СТС РОЭТК, сформулировок принципов оптимальности, эмерджентности, эквивалентности и предложенной структуры показателя LCOER (3), вытекает ряд важных следствий.

Следствие 1 из принципа эмерджентности: интегральный показатель LCOER анализируемой СТС РОЭТК неаддитивен по отношению к показателям LCOE (1) всех компонент анализируемой СТС РОЭТК, причем:

$$LCOER \geq \sum_{i=1}^{IP} k_i \text{MIN}_{LCOEi}, \quad (5)$$

где $\sum_{i=1}^{IP} k_i \text{MIN}_{LCOEi} = E_{\text{РОЭТК}}$ — интегральная эффективность РОЭТК (3).

Следствие 2 из принципа оптимальности: интегральный показатель LCOER, в силу своей структуры, служит мерой работоспособности и качества

функционирования в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях на протяжении всего жизненного цикла РОЭТК.

Следствие 3 из принципа оптимальности: в силу структуры функционалов $E(W)$ и $G(WI)$ глобальное решение оптимизационной задачи

$$LCOER(E(W), G(WI)) \Rightarrow \min \quad (6)$$

представляет собой решение многопараметрической оптимизационной задачи, «обосновывающей совокупность технических, технологических, экономических, экологических и социальных критериев принимаемых решений в области проектирования, создания и эксплуатации анализируемой СТС РОЭТК».

Основные результаты и выводы. Принципы эмерджентности, оптимальности и следствия из них образуют методику разработки исследования и эксплуатации СТС РОЭТК, которая представляет собой следующую совокупность процедур:

— определение конкретных целей надсистемы, которой принадлежит РОЭТК;

— построение математических моделей компонент РОЭТК, отвечающих принципам иерархии и конкретным целям надсистемы;

— последовательное построение интегрального показателя удельной приведенной стоимости выработанной электроэнергии $LCOER$ (4);

— решение оптимизационной задачи: $LCOER(E(W), G(WI)) \Rightarrow \min$, включая обоснованный выбор (или построение) метода оптимизации.

Применение предложенной методики оптимального проектирования и эксплуатации РОЭТК [29] к тестовой задаче [30] подтвердило правильность основных теоретических положений настоящей работы. Установлено, что предложенная методика, по отношению к подходу (1) – (3), дает возможность дополнительного снижения общих расходов РОЭТК на протяжении всего жизненного цикла на 5–15 %, при сохранении заданных объемов, качества и надежности производства электрической энергии. Детальное описание указанного вычислительного эксперимента будет приведено в последующих публикациях.

Библиографический список

1. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года. Проект. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1920> (дата обращения: 16.04.2020).
2. Елистратов В. В. Энергетический, экологический и социально-экономический аспекты в энергоснабжении северных и арктических территорий РФ // Экологический вестник России. 2017. № 11. С. 30–35.
3. Прогноз развития энергетики мира и России 2019 / Под ред. А. А. Макарова, Т. А. Митровой, В. А. Кулагина; ИНЭИ РАН—Московская школа управления Сколково. М., 2019. 210 с. ISBN 978-5-91438-028-8.
4. Архипова О. В., Ковалев В. З., Хамитов Р. Н. Методика моделирования регионально обособленного электротехнического комплекса // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330, № 1. С. 173–180. DOI: 10.18799/24131830/2019/1/63.
5. Andreeva E. G. «Regular element» global SLAE of the finite element method when simulating electromagnetic processes of electric devices // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1050. 012003. DOI: 10.1088/1742-6596/1050/1/012003
6. Andreeva E. G., Gritsay A. S. Classification and research of electro-technical devices with unclosed magnetic core // Journal

of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1260. 052001. DOI: 10.1088/1742-6596/1260/5/052001.

7. Ковалев В. З., Мальгин Г. В., Архипова О. В. Математическое моделирование электротехнических комплексов нефтегазодобычи в задачах энергосбережения: моногр. Ханты-Мансийск: Полиграфист, 2008. 220 с. ISBN 978-5-89846-800-2.

8. Федоров И. В., Федоров В. К. Теоретические основы энтропийного оптового рынка электрической энергии в режимах детерминированного хаоса // Прикладная математика и фундаментальная информатика. 2018. Т. 5, № 3. С. 29–48. DOI: 10.25206/2311-4908-2018-5-3-29-48.

9. ГОСТ 22.2.04–2012 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные аварии и катастрофы. Метрологическое обеспечение контроля состояния сложных технических систем. Основные положения и правила. Введ. 2014–09–01. М.: Стандартинформ, 2019. 13 с.

10. Букреев В. Г., Сипайлова Н. Ю., Сипайлов В. А. Стратегия управления электротехническим комплексом механизированной добычи нефти на основе экономического критерия // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328, № 3. С. 75–84.

11. Воропай Н. И. Теория систем для электроэнергетиков. Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 2000. 273 с. ISBN 5-02-031274-6.

12. Папков Б. В., Куликов А. Л. Теория систем и системный анализ для электроэнергетиков. 2-е изд., испр. и доп. М.: Юрайт, 2019. 470 с. URL: <https://urait.ru/bcode/434717> (дата обращения: 16.04.2020).

13. Lukutin B. V., Shandarova E. B., Matukhin D. L., Iginov A. A., Shandarov S. M. Simulation and optimization of wind and diesel power supply systems // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. Vol. 177. 012090. DOI: 10.1088/1757-899X/177/1/012090.

14. Voropai N., Stennikov V., Zhou B., Barakhtenko E., Karamov D., Voitov O., Sokolov D. An approach to the modeling of decentralized integrated energy systems with renewable energy sources // Energy Systems Research. 2019. Vol. 2, no. 1 (5). P. 5–12.

15. Sosnina E. N., Shalukho A. V., Lipuzhin I. A., Kechkin A. Y., Voroshilov A. A. Optimization of virtual power plant topology with distributed generation sources // 2018 International Conference and Utility Exhibition on Green Energy for Sustainable Development (ICUE). 2018. 8635749. DOI: 10.23919/ICUE-GESD.2018.8635749.

16. Elistratov V. V., Bogun I. V., Kasina V. I. Optimization of wind-diesel power plants parameters and placement for power supply of Russia's northern regions consumers // Proceedings of the 16th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems. 2019. 8771647. DOI: 10.1109/ELMA.2019.8771647.

17. Ковалев В. З., Архипова О. В. Методика оптимизации структуры парка ветро-дизельных электростанций // Нефтегазовое дело. 2014. Т. 12, № 4. С. 112–125.

18. Nikolaev V. V., Nikolaev V. G., Karchenko V. V. On determining the optimal composition of wind-diesel power complexes taking into account local conditions // Russian Electrical Engineering. 2018. Vol. 89, no. 3. P. 186–192. DOI: 10.3103/S1068371218030112.

19. Sidorov D., Muftahov I., Zhukov A., Karamov D., Dreglea A., Tao Q., Liu F. Energy balancing using charge/discharge storages control and load forecasts in a renewable-energy-based grids // Proceedings of the 38th Chinese Control Conference. 2019. P. 6865–6870. DOI: 10.23919/ChiCC.2019.8865777.

20. Минин В. А., Рожкова А. А. Оценка эффективности внедрения ветроэнергетических установок на дизельных электростанциях в арктической зоне РФ // Труды Кольского научного центра РАН. 2017. № 1-14 (8). С. 93–99.

21. Хватов О. С., Дарьенков А. Б., Кобяков Д. С. [и др.]. Моделирование переходных процессов в дизель-генераторной установке переменной частоты вращения с буферным накопителем энергии // Труды НГТУ им. П. Е. Алексеева. 2019. № 1 (124). С. 130–137.

22. Obukhov S. G., Plotnikov I. A., Savkin K. D., Surzhikova O. A. Method for prediction of the power output from photovoltaic power plant under actual operating conditions // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. Vol. 189. 012008. DOI: 10.1088/1757-899X/189/1/012008.

23. Волкова В. Н., Денисов А. А. Теория систем и системный анализ. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Юрайт, 2014. 616 с. ISBN 978-5-9916-1443-6.

24. Visser E., Held A. Methodologies for estimating Levelised Cost of Electricity (LCOE): Implementing the best practice LCoE methodology of the guidance. ECFYS. Utrecht, 2014. 35 p.

25. Allouhi A. Energetic, exergetic, economic and environmental (4-e) assessment process of wind power generation // Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 235. P. 123–137. DOI: 10.1016/j.enconman.2017.06.063.

26. Новосельцев В. И., Кочедыков С. С., Орлова Д. Е. Тензорный анализ Крона и его приложения / под ред. В. И. Новосельцева. Воронеж: Научная книга, 2017. 260 с.

27. Zhuang X., Xu X., Liu W. [et al.]. LCOE analysis of tower concentrating solar power plants using different molten-salts for thermal energy storage in China // Energies. 2019. Vol. 12, no. 7. 1394. DOI: 10.3390/en12071394.

28. Bosch J., Hawkes A. D., Staffell I. Global levelised cost of electricity from offshore wind // Energy. 2019. Vol. 171. 116357. DOI: 10.1016/j.energy.2019.116357.

29. Ковалев В. З., Архипова О. В., Парамзин А. О. Математическая модель РОЭТК на базе основных энергопреобразую-

щих элементов с учетом характерных «Бизнес-связей»: свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019611986 от 07.02.2019. М.: ФИПС, 2019. № 2018663694 от 26.11.2018.

30. Архипова О. В., Дюба Е. А., Евстегнеева Ю. Д. [и др.]. Анализ графиков нагрузки потребителей децентрализованных зон электроснабжения предприятия // Инженерный вестник Дона. 2019. № 8 (59). С. 23.

АРХИПОВА Ольга Владимировна, старший преподаватель института нефти и газа.

SPIN-код: 1764-6163

AuthorID (РИНЦ): 637176

ORCID: 0000-0002-8773-8846

AuthorID (SCOPUS): 57211266487

ResearcherID: G-5205-2012

Адрес для переписки: arkh82@mail.ru

Для цитирования

Архипова О. В. Принципы и средства исследования регионально обособленного электротехнического комплекса с позиций системного анализа // Омский научный вестник. 2020. № 3 (171). С. 42–46. DOI: 10.25206/1813-8225-2020-171-42-46.

Статья поступила в редакцию 16.04.2020 г.

© О. В. Архипова