

УДК 621.311.001.57

DOI: 10.24160/1993-6982-2023-5-20-26

## Организационно-технические аспекты электроснабжения системы автономных объектов

А.В. Кандауров

Системы автономных объектов представляют собой совокупность потребителей, переносных или размещаемых на транспортной базе, распределенных на площади, объединенных по цели функционирования, постоянно перемещающихся в условиях отсутствия электрической связи между собой и со стационарной сетью, требующих бесперебойного электроснабжения во избежание срывов выполнения задачи. Описан подход моделирования электроснабжения системы автономных объектов, учитывающий организационные и технические вопросы.

Предложено рассматривать в совокупности организационно-штатную структуру, комплекты техники и электротехнических средств, а также режимы их работы. Проанализирован методический подход к оценке электроснабжения системы автономных объектов на основе определения состояний. Состояния по координатам, топливу, балансу мощности, зарядным устройствам, аккумуляторным батареям составят коэффициент готовности в качестве критерия эффективности как элемента, так и системы в целом в каждый момент времени.

В соответствии с полученным значением коэффициента готовности формируется решение по режиму работы системы автономных объектов на основе степени рекомендуемого системного влияния. Системный учет изменения параметров (времени, пространства, состояний, воздействий, их градаций и степени взаимовлияния) определяет направления приложения усилий по оптимизации электроснабжения.

При планировании деятельности основной задачей моделирования функционирования электроснабжения является определение моментов воздействия для обеспечения надежной работы: времени (места) заправки топливом, обслуживания, заряда, проверки и пр.

Учет в моделировании организационно-технических вопросов позволяет прогнозировать состояния системы автономных объектов.

**Ключевые слова:** система автономных объектов, моделирование, критерий эффективности, оптимизация, электроснабжение.

**Для цитирования:** Кандауров А.В. Организационно-технические аспекты электроснабжения системы автономных объектов // Вестник МЭИ. 2023. № 5. С. 20—26. DOI: 10.24160/1993-6982-2023-5-20-26.

## Organizational and Technical Aspects of Supplying Power for a System of Autonomous Facilities

A.V. Kandaurov

Systems of autonomous facilities are a set of consumers carried by or placed on a transport base, distributed over an area, united according to the purpose of functioning, constantly moving in the absence of electrical communication between themselves and with a stationary network. At the same time, they require uninterrupted power supply for avoiding failure to perform the task assigned to them. The article describes an approach to modeling power supply for a system of autonomous facilities that takes into account organizational and technical aspects.

It is proposed to consider the totality of organization and staff structure, sets of equipment and electrical systems, and as well as their operation modes. A methodical approach to assessing the power supply for a system of autonomous facilities based on the definition of their states is analyzed. The states in terms of coordinates, fuel, power balance, charging devices, and storage batteries will form the availability factor as an efficiency criterion of both a component, and the system as a whole at any time moment.

In accordance with the obtained availability factor value, a decision on the operation mode of the system of autonomous facilities is produced based on the degree of recommended system influence. Systematic consideration of changes in the parameters (time, space, states, impacts, their gradations and the degree of mutual influence) makes it possible to determine the directions in which efforts to optimize power supply should be applied.

In planning the activities, the main objective of modeling the power supply operation is to determine the moments at which actions shall be taken to ensure reliable operation: the fueling time (place), maintenance, charging, checks, etc.

The consideration of organizational and technical aspects in modeling opens the possibility to predict the states of a system of autonomous facilities.

**Key words:** system of autonomous facilities, modeling, efficiency criterion, optimization, power supply.

**For citation:** Kandaurov A.V. Organizational and Technical Aspects of Supplying Power for a System of Autonomous Facilities. Bulletin of MPEI. 2023;5:20—26. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2023-5-20-26.

### Состояние вопроса

В настоящее время моделированию процессов электроснабжения систем автономных объектов (САО) уделено достаточно внимания, однако работы в этом направлении характеризуются совершенствованием технических характеристик единичного источника электроэнергии (ИЭЭ). Вопросы построения системы и ее технического обеспечения (обслуживания) не затрагиваются, в результате чего отсутствуют методические подходы, позволяющие оценивать степень и качество выполнения задачи.

Сфера применения источников электроэнергии в САО огромна: оборона, здравоохранение, ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций и пр. Все указанные сферы имеют общие черты, связанные с электроснабжением: иерархичность, отсутствие электрической связи между уровнями и элементами системы, снабжение ресурсами для нормального функционирования (запасными частями, горюче-смазочными материалами (ГСМ)) [1, 2].

Совокупность потребителей, переносных и/или размещенных на транспортной базе (более 1000 единиц), расположенных на площади около 100 км<sup>2</sup>, объединенных по цели функционирования, постоянно перемещающихся, в условиях отсутствия электрической связи и со стационарной сетью, складывается в большую и сложную техническую систему, требующую бесперебойного электроснабжения во избежание срывов выполнения задачи.

### Постановка задачи

Необходимо учесть организационные и технические аспекты электроснабжения САО в ее модели функционирования и методиках оценки эффективности. Цель создания модели процесса (системы) — возможность прогноза результатов воздействий над рассматриваемой системой. Изучение происходящих процессов помогает выявить несоответствия и внести корректизы в конструкции и порядок эксплуатации САО.

### Методы решения и допущения

Во многих оптимизационных задачах электроснабжения учитывали такие факторы, как закономерности роста (изменения) нагрузок, показатели надежности (живучести) системы электроснабжения (СЭС), режи-

мы работы и др. При анализе САО применяли методы теории вероятностей, теории решений, искусственного интеллекта, математического моделирования [3 — 8].

### Результаты

Усложнение модели практически всегда ведет к дополнительным затратам на сбор и обработку необходимой информации. Возникает вопрос о методах выбора наилучших или, по крайней мере, рациональных моделей [9 — 11].

Исследования показали, что целесообразно рассматривать три компоненты САО: организационно-штатную структуру (ОШС), базовые шасси (технику) и дополнительное оборудование (экипировку).

Пусть некоторая ОШС минимального уровня включает в себя несколько образцов техники, каждый из которых, в свою очередь, совместно функционирует с некоторыми объектами дополнительного оборудования. Суть модели функционирования (рис. 1) такой структуры заключается в переходе из одного состояния в другое за счет расхода ресурсов (топлива), а оценка электроснабжения САО проводится по времени и режимам работы (выработанной и потраченной электроэнергии в кВт·ч). Следует отметить, что в оценку войдут организационная и техническая составляющие.

Организационная составляющая оценки учитывает технологическую карту действий САО, режимы работы потребителей электроэнергии образцов техники и расстояния от аккумулятора (АКБ) до зарядного устройства (ЗУ). Техническая составляющая — количество выработанной электроэнергии от каждого источника, а также эксплуатационные данные: перегрев, пробой, заряд, разряд, износ, расход и т. д.

На уровне дополнительного оборудования описание процесса характеризуется техническими составляющими (табл. 1). На уровне базового шасси (техники) кроме его работы необходимо учитывать обеспечение оборота аккумуляторных батарей (работы ИЭЭ), а также вопросы снабжения топливом. На уровне ОШС процессу электроснабжения присуще решение организационных вопросов, в том числе, оказание помощи нижестоящему уровню силами старшего начальника (ССН), и технологией функционирования (перемещения).

Исследование электроснабжения САО проводили на основе системного подхода с помощью баз данных.

Таблица 1

### Описание электроснабжения системы автономных объектов

Компоненты системы автономных объектов	Модели системы автономных объектов		
	движения	организационная	работы
Уровень организационно-штатной структуры	+	+	—
Базовое шасси (техника)	—	+	+
Дополнительное оборудование (экипировка)	—	—	+

Из структуры САО были выделены:

Аналогично выглядят комплекты дополнительного

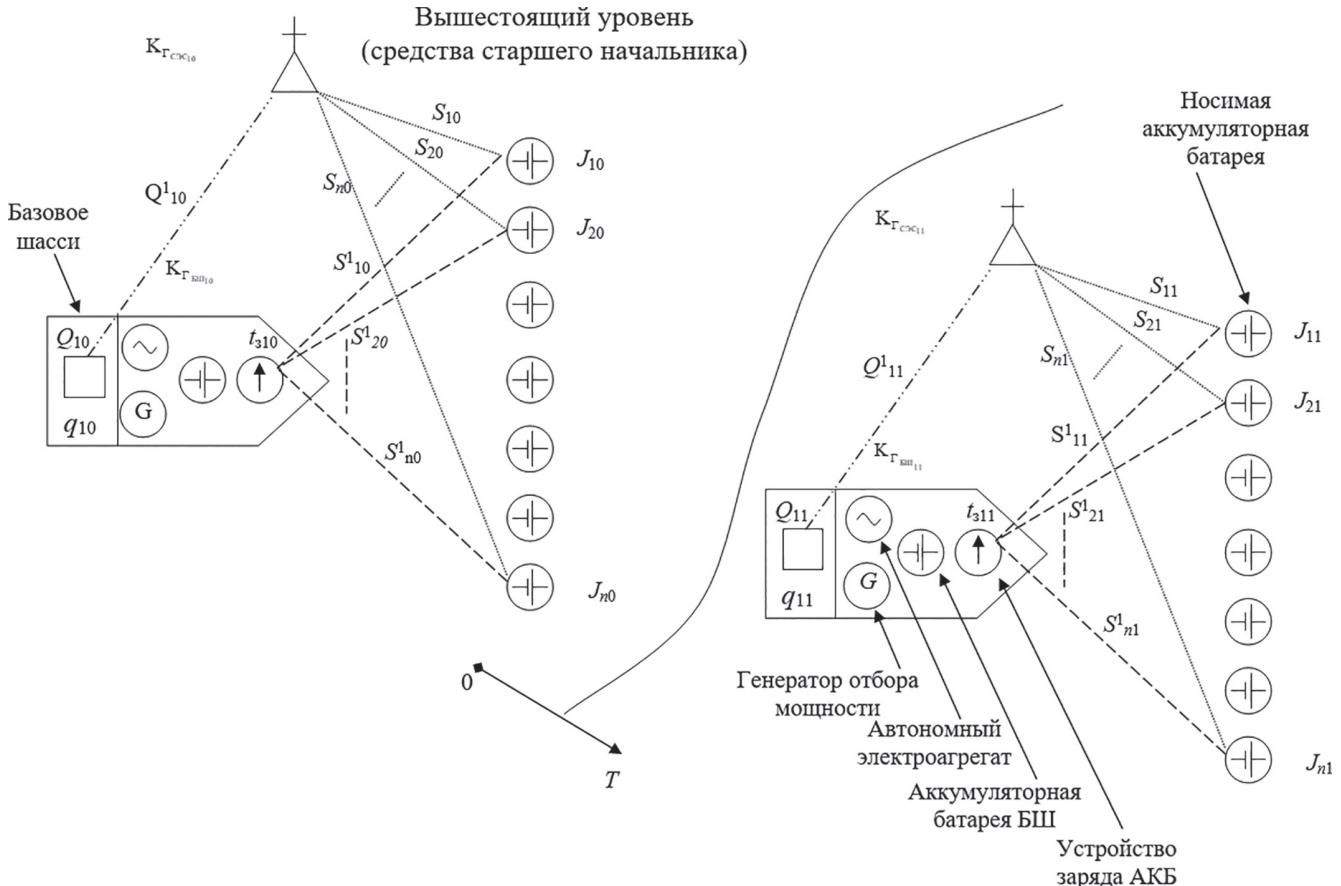


Рис. 1. Принцип моделирования электроснабжения системы автономных объектов:

$Q_{10}$ ,  $Q_{10}^1$  — запас и плечо подвзза ГСМ;  $S_{i0}^1$ ,  $S_{i0}$  — плечи зарядов АКБ от БШ и АКБ ССН;  $J_{i0}$ ,  $t_{i0}$  — степень и время заряда АКБ;  $q_{10}$  — расход топлива БШ

- организационно-штатная структура (ОШС);
  - базовые шасси (БШ);
  - дополнительное оборудование (ДО);
  - электротехнические средства (ЭТС);
  - технологический рисунок (ТР).

Созданные реестры выделенных структур позволили избежать многократного дублирования информации. Доступ к данным осуществлялся последовательно, объем запрашиваемой информации определяли в зависимости от поставленной задачи.

ОШС представлена в виде матриц по уровням иерархии от 1 до 5, где учитывается количество типов соответствующих подразделений по уровню:

$$M_{\text{OШС}_i} = \begin{pmatrix} \text{OШС}_1 \\ \text{OШС}_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ \text{OШС}_k \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Тогда техническое оснащение отдельного подразделения равно

$$M_{\mathbb{B}\mathbb{W}i} = M_{\mathbb{O}\mathbb{W}\mathbb{C}i} M_{\mathbb{B}\mathbb{W}}. \quad (2)$$

оборудования и технологический рисунок:

$$M_{\mathcal{D}\Omega i} = M_{\Omega\mathcal{W}C i} M_{\mathcal{D}\Omega}; \quad (3)$$

$$M_{\text{tr}_i} = M_{\text{out}_i} M_{\text{tr}_i} \quad (4)$$

Комплект ЭТС зависит от характера оснащения САО:

$$M_{\text{DTC}} = M_{\text{cyclic}} M_{\text{sum}} M_{\text{DTC}} + M_{\text{cyclic}} M_{\text{tot}} M_{\text{DTC}}. \quad (5)$$

Следовательно, функционирование САО представлено

$$f(M_{\text{OIII}}, M_{\text{[OII]}}, M_{\text{[OIII]}}, M_{\text{[OII]}}, M_{\text{[OIII]}},), \quad (6)$$

где  $j = 0, 1, \dots, t$ .

Матрично-иерархическое представление содержит полное описание структур и характеристик всех объектов.

Оценка работоспособности и функционального состояния как СЭС базового шасси, так и СЭС САО в целом, требует четко структурированных графов множеств ОШС, БШ и ЭТС с указанием состава, а главное, единых подходов и методов анализа [12 — 20].

Состояния по координатам  $M_{xy_{ij}}$ , топливу  $M_{Q_{ij}}$ , балансу мощности  $M_{\Delta_{\mu\nu}}$ , зарядным устройствам  $M_{3y_{ij}}$ , ак-

кумуляторным батареям  $M_{\text{АКБ}_{ij}}$  составляют аддитивный коэффициент готовности как образца техники  $K_{\Gamma_{\text{БШ}_{ij}}}$ , так и САО  $K_{\Gamma_{\text{СЭС}_{ij}}}$  в момент времени  $\tau_j$ .

Аддитивный показатель выбран на основе учета взаимного влияния ЭТС, при котором из-за отсутствия одной из составляющих общий показатель не обращается в 0, как в мультиплексивном.

$K_{\Gamma}$  учитывает влияние величины ресурсов с учетом их важности в соответствии с режимами функционирования:

$$K_{\Gamma_{\text{БШ}_{ij}}} = K_{\text{баланс}} \left( K_{\text{в}}^T K_{\text{топливо}} + K_{\text{в}}^{\text{ГОМ}} K_{\text{ГОМ}} + K_{\text{в}}^{\text{расх}} K_{\text{расх}} + K_{\text{в}}^{\text{ЗУ}} K_{\text{ЗУ}} + K_{\text{в}}^{\text{АКБ}} K_{\text{АКБ}} \right); \quad (7)$$

$$K_{\Gamma_{\text{СЭС}_{ij}}} = K_{\text{в}}^T K_{\text{топливо}} + K_{\text{в}}^{\text{УК}} K_{\text{УК}} + K_{\text{в}}^{\text{ЗУ}} K_{\text{ЗУ}} + K_{\text{в}}^{\text{АКБ}} K_{\text{АКБ}}, \quad (8)$$

где  $K_{\text{баланс}}$  — коэффициент, учитывающий баланс мощности;  $K_{\text{в}}^T$ ,  $K_{\text{в}}^{\text{ГОМ}}$ ,  $K_{\text{в}}^{\text{расх}}$ ,  $K_{\text{в}}^{\text{ЗУ}}$ ,  $K_{\text{в}}^{\text{АКБ}}$ ,  $K_{\text{в}}^{\text{УК}}$  — весовые коэффициенты топлива, исправности силовой установки (СУ) или генератора отбора мощности (ГОМ), расхода топлива, использования зарядного устройства и АКБ, укомплектованности.

В относительных единицах выражены:

- наличие топлива:

$$K_{\text{топливо}} = Q_{ij}/Q_n, \quad (9)$$

где  $Q_{ij}$  — текущее состояние по топливу;  $Q_n$  — состояние по топливу в соответствии с характеристиками;

- степень заряженности АКБ:

$$K_{\text{АКБ}} = C_{ij}/C_n, \quad (10)$$

где  $C_{ij}$ ,  $C_n$  — текущая и номинальная емкости АКБ;

- степень расхода топлива:

$$K_{\text{расх}} = 1 - \frac{t_{\text{СУ}} q_{\text{СУ}} + t_{\text{АЭА}} q_{\text{АЭА}}}{q_{\text{СУ}}}, \quad (11)$$

где  $t_{\text{СУ}}$ ,  $t_{\text{АЭА}}$  — время работы силовой установки и автономного электроагрегата за период наблюдения (моделирования);  $q_{\text{СУ}}$ ,  $q_{\text{АЭА}}$  — расход топлива силовой установки и автономного электроагрегата;

- степень использования ИЭЭ:

$$K_{\text{исп}} = \frac{t_{\text{СУ}}}{24} + \frac{t_{\text{АЭА}}}{24} = 1 - \frac{t_{\text{простоя}}}{24}, \quad (12)$$

где  $t_{\text{простоя}}$  — время неиспользования за период наблюдения (моделирования).

- наличие свободных каналов в зарядном устройстве:

$$K_{\text{ЗУ}} = n_{\text{свободно}}/n_n, \quad (13)$$

где  $n_{\text{свободно}}$  — количество свободных каналов заряда;  $n_n$  — количество каналов заряда;

- исправность силовой установки базовой машины (генератора отбора мощности):

$$K_{\text{ГОМ}} = \begin{cases} 1, & \text{исправен;} \\ 0, & \text{не исправен;} \end{cases} \quad (14)$$

- баланс мощности:

$$K_{\text{баланс}} = \begin{cases} 1, & P_{\text{пээ}} \leq P_{\text{иээ}}; \\ \frac{P_{\text{пээ}} - P_{\text{иээ}}}{P_{\text{иээ}}}, & P_{\text{пээ}} \geq P_{\text{иээ}}, \end{cases} \quad (15)$$

где  $P_{\text{пээ}}$ ,  $P_{\text{иээ}}$  — мощности потребителей и источников электроэнергии образца техники;

- степень укомплектованности:

$$K_{\text{ук}} = N_{\text{список}}/N_{\text{штат}}, \quad (16)$$

где  $N_{\text{список}}$ ,  $N_{\text{штат}}$  — количество средств по списку и по штату.

Весовые коэффициенты  $K_{\text{в}}^T$ ,  $K_{\text{в}}^{\text{ГОМ}}$ ,  $K_{\text{в}}^{\text{расх}}$ ,  $K_{\text{в}}^{\text{ЗУ}}$ ,  $K_{\text{в}}^{\text{АКБ}}$ ,  $K_{\text{в}}^{\text{УК}}$  составных частей установлены по результатам экспертного опроса.

В соответствии с полученным (рассчитанным) оценочным суждением формируется решение по режиму работы САО или (при решении исследовательской задачи) обосновываются требования к САО в целом, и к СЭС, в частности, на основе степени рекомендуемого системного влияния:  $\Delta M_{\text{ошс}}$ ,  $\Delta M_{\text{БШ}}$ ,  $\Delta M_{\text{до}}$ ,  $\Delta M_{\text{ЭТС}}$ ,  $\Delta M_{\text{ХУ}}$ ,  $\Delta M_{\text{ОУ}}$ ,  $\Delta M_{\text{ДР}}$ ,  $\Delta M_{\text{ЗУ}}$ ,  $\Delta M_{\text{АКБ}}$ ,  $\Delta K_{\text{БШ}}$ ,  $\Delta K_{\text{СЭС}}$ .

Пример расчета критерия эффективности приведен в табл. 2. Опосредованно выполнены анализ и оценка всех элементов и уровней САО.

На рисунке 2 показан характерный график влияния ежесуточной заправки топливом (шаг моделирования — 1 ч) на значение критерия эффективности, иллюстрирующий оценку одного из элементов САО.

Системный учет показателей, составляющих  $\Delta K_{\text{БШ}}$  ( $\Delta K_{\text{СЭС}}$ ), позволяет варьировать (1) — (16) параметры, как организационные, так и технические, в модели САО для снижения диапазона переходных процессов (см. рис. 2).

Следует отметить, что время функционирования САО (в зависимости от предназначения) варьируется от нескольких часов (ликвидация чрезвычайной ситуации) до нескольких суток (режим контртеррористической операции), поэтому требования по реагированию на изменения состояния системы должны быть соизмеримы.

### Анализ результатов

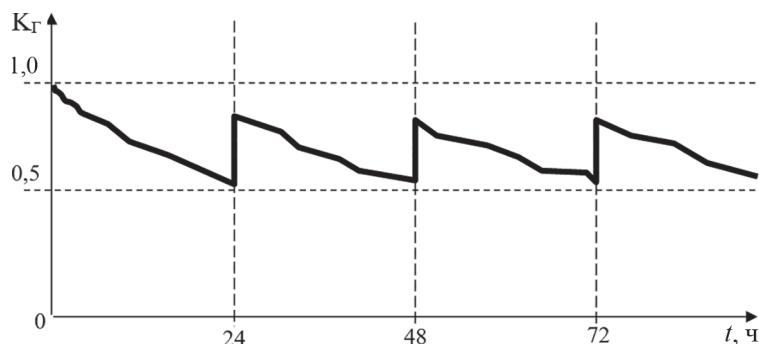
Системный учет изменения параметров (времени, пространства, состояний, воздействий, их градаций и степени взаимовлияния) позволит определять направления приложения усилий по оптимизации электроснабжения САО [9 — 11].

Таким образом, одной из основных задач моделирования функционирования САО является поиск моментов воздействия для обеспечения надежной работы: времени (места) заправки топливом, обслуживания, заряда, проверки и пр. Графическое представление критерия эффективности (см. рис. 2) помогает оценивать

Таблица 2

## Расчетный пример определения критерия эффективности

Весовые коэффициенты						
$K_B^T$	$K_B^GOM$	$K_B^{расх}$	$K_B^{3У}$	$K_B^{АКБ}$	$K_B^{УК}$	—
0,4	0,2	0,1	0,1	0,2	0,3	—
Параметры функционирования						
$K_{топливо}$	$K_{GOM}$	$K_{расх}$	$K_{3У}$	$K_{АКБ}$	$K_{УК}$	$K_{баланс}$
при $t = 0$						
1	1	1	1	1	1	1
при $t = T$						
0,90	1,00	0,90	1,00	0,75	1,00	1,00
Критерий эффективности						
при $t = 0$						
$K_{Г_{БШ_{i0}}} = 1; K_{Г_{СЭС_{i0}}} = 1$						
при $t = T$						
$K_{Г_{БШ_{i1}}} = 0,9; K_{Г_{СЭС_{i1}}} = 0,91$						

Рис. 2. Характерный график изменения критерия эффективности  $K_{Г_{БШ_{i1}}}(K_{Г_{СЭС_{i1}}})$ 

диапазон его изменения и частоту необходимых воздействий для обеспечения устойчивости САО.

Изменения в конструкциях базовых шасси, дополнительного оборудования и электротехнических средств в соответствии с результатами моделирования оптимизирует технический облик САО.

## Выходы

В связи с увеличением интенсивности эксплуатации и повышением уровня информатизации в каждой

без исключения сфере деятельности человека растут требования и по электроснабжению.

Учет в моделировании электроснабжения системы автономных объектов организационно-технических вопросов позволяет прогнозировать состояния такой сложной системы.

Моделирование — как инструмент, выявляет несоответствия и находит оптимальные технические и организационные решения, особенно в области электроснабжения системы автономных объектов [1].

## Литература

1. **Боевой** устав по подготовке и ведению общевойскового боя. Ч. 2. М.: Воениздат, 2011.
2. **Шульгин В.Н. и др.** Инженерная защита населения. Ч. 1. М.: Академия ГПС МЧС России, 2009.
3. **Рутковская Д.** Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. М.: Горячая линия – Телеком, 2008.

## References

1. **Boevoy** Ustav po Podgotovke i Vedeniyu Obshcheyevoyskovo Boya. Ch. 2. M.: Voenizdat, 2011. (in Russian).
2. **SHul'gin V.N. i dr.** Inzhenernaya Zashchita Naseleniya. Ch. 1. M.: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2009. (in Russian).
3. **Rutkovskaya D.** Neyronnye Seti, Geneticheskie Algoritmy i Nechetkie Sistemy. M.: Goryachaya Liniya – Telekom, 2008. (in Russian).

4. **Мирошник И.В.** Теория автоматического управления. Линейные системы. СПб.: Питер, 2005.
5. **Электрические** системы. Т. 1 Математические задачи электроэнергетики / под ред. Веникова В.А. М.: Высшая школа, 1981.
6. **Кадомская К.П., Кандаков С.А., Лавров Ю.А.** Повышение достоверности математического моделирования электрооборудования и процессов при исследованиях перенапряжений в электрических сетях 6–35 кВ // Ограничение перенапряжений и режимы заземления нейтрали сетей 6–35 кВ: Труды III Всерос. науч.-техн. конф. Новосибирск, 2004. С. 104—111.
7. **Смирнов А.С., Гайдамович Д.О.** Анализ надежности структурно-сложных электрических схем // Электричество. 2001. № 2. С. 50—56.
8. **Карташев И.И. и др.** Управление качеством электроэнергии. М.: Издат. дом МЭИ, 2017.
9. **Затепина В.И.** Построение математических моделей функционирования элементов систем электроснабжения // Энергетика и энергоэффективные технологии: Сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф. Липецк: ЛГТУ, 2006. С. 192—197.
10. **Тимофеев П.А.** Моделирование бизнес-процессов и автоматизация формирования организационных структур в системе поддержки управленческой деятельности промышленных объединений: автореф. дис. ... доктора техн. наук. М.: МАДИ (ГТУ), 2012.
11. **Дьяченко Р.А.** Разработка теоретических положений системного анализа для технологии SMART GRID электроэнергетических комплексов: автореф. дис. ... доктора техн. наук. Краснодар: КГТУ, 2014.
12. **Фомин Г.А.** Управление сложным объектом с использованием его когнитивной карты и данных наблюдений // Вестник МЭИ. 2022. № 5. С. 121—127.
13. **Проталинский О.М., Шведов А.Ю., Ханова А.А.** Система поддержки принятия решений управления жизненным циклом электрооборудования // Вестник МЭИ. 2021. № 5. С. 108—116.
14. **Чемборисова Н.Ш., Фролов О.В., Баранов И.Л., Баширов И.Н.** Использование обобщенных показателей схемы при анализе режимов электроэнергетических систем // Вестник МЭИ. 2015. № 1. С. 66—73.
15. **Балакирев В.С., Дворецкий С.И., Аниськина Н.Н.** Математическое моделирование технологических процессов. Ярославль: Издат. дом Н.П. Пастухова, 2018.
16. **Лещинская Т.Б.** Оптимизация систем электроснабжения. М.: Издат-во МЭИ, 2002.
17. **Газизова О.В., Кондрашова Ю.Н., Малафеев А.В.** Повышение эффективности управления режимами электростанций промышленного энергоузла за счет прогнозирования статической и динамической устойчивости при изменении конфигурации сети // Электротехнические системы и комплексы. 2016. № 3. С. 27—38.
4. **Miroshnik I.V.** Teoriya Avtomaticheskogo Upravleniya. Lineynye Sistemy. SPb.: Piter, 2005. (in Russian).
5. **Elektricheskie** Sistemy. T. 1 Matematicheskie Zadachi Elektroenergetiki. Pod Red. Venikova V.A. M.: Vysshaya Shkola, 1981. (in Russian).
6. **Kadomskaya K.P., Kandakov S.A., Lavrov Yu.A.** Povyshenie Dostovernosti Matematicheskogo Modelirovaniya Elektrooborudovaniya i Protsessov pri Issledovaniyakh Perenapryazheniy v Elektricheskikh Setyakh 6–35 kV. Ogranichenie Perenapryazheniy i Rezhimy Zazemleniya Neytrali Setey 6–35 kV: Trudy III Vseros. Nauch.-tekhn. Konf. Novosibirsk, 2004:104—111. (in Russian).
7. **Smirnov A.S., Gaydamovich D.O.** Analiz Nadezhnosti Strukturno-slozhnykh Elektricheskikh Skhem. Elektrичество. 2001;2:50—56. (in Russian).
8. **Kartashev I.I. i dr.** Upravlenie Kachestvom Elektroenergii. M.: Izdat. Dom MEI, 2017. (in Russian).
9. **Zatsepina V.I.** Postroenie Matematicheskikh Modeley Funktsionirovaniya Elementov Sistem Elektronsnabzheniya. Energetika i Energoeffektivnye Tekhnologii: Sb. Dokl. Mezhdunar. Nauch.-tekhn. Konf. Lipetsk: LGTU, 2006:192—197. (in Russian).
10. **Timofeev P.A.** Modelirovaniye Biznes-protsessov i Avtomatizatsiya Formirovaniya Organizatsionnykh Struktur v Sisteme Podderzhki Upravlencheskoy Deyatelnosti Promyshlennykh Ob'edineniy: Avtoref. Dis. ... Doktora Tekhn. Nauk. M.: MADI (GTU), 2012. (in Russian).
11. **D'yachenko R.A.** Razrabotka Teoreticheskikh Polozheniy Sistemnogo Analiza dlya Tekhnologii SMART GRID Elektroenergeticheskikh Kompleksov: Avtoref. Dis. ... Doktora Tekhn. Nauk. Krasnodar: KGTU, 2014. (in Russian).
12. **Fomin G.A.** Upravlenie Slozhnym Ob'ektom s Ispol'zovaniem Ego Kognitivnoy Karty i Dannykh Nablyudeniy. Vestnik MEI. 2022;5:121—127. (in Russian).
13. **Protalinskiy O.M., Shvedov A.Yu., Khanova A.A.** Sistema Podderzhki Prinyatiya Resheniy Upravleniya Zhiznennym Tsiklom Elektrooborudovaniya. Vestnik MEI. 2021;5:108—116. (in Russian).
14. **Chemborisova N.Sh., Frolov O.V., Baranov I.L., Bashirov I.N.** Ispol'zovanie Obobshchennykh Pokazateley Skhemy pri Analize Rezhimov Elektroenergeticheskikh Sistem. Vestnik MEI. 2015;1:66—73. (in Russian).
15. **Balakirev V.S., Dvoretzkiy S.I., Anis'kina N.N.** Matematicheskoe Modelirovaniye Tekhnologicheskikh Protsessov. Yaroslavl': Izdat. Dom N.P. Pastukhova, 2018. (in Russian).
16. **Leshchinskaya T.B.** Optimizatsiya Sistem Elektrosnabzheniya. M.: Izdat-vo MEI, 2002.
17. **Gazizova O.V., Kondrashova Yu.N., Malafeev A.V.** Povyshenie Effektivnosti Upravleniya Rezhimami Elektrostantsiy Promyshlennogo Energouzla za Schet Prognozirovaniya Statischeskoy i Dinamicheskoy Ustoychivosti pri Izmenenii Konfiguratsii Seti. Elektrotehnicheskie Sistemy i Kompleksy. 2016;3:27—38. (in Russian).

18. **Варганова А.В., Гончарова И.Н., Байрамгулова Ю.М., Ефимова В.А.** Методика оценки эффективности внедрения источников распределенной генерации // Вестник ЮУГУ. Серия «Энергетика». 2019. № 4. С. 52—58.
19. **Карташов И.И., Рыжов Ю.П.** Способы и средства управления режимами электроэнергетических систем и качеством электроэнергии // Электричество. 2007. № 9. С. 20—25.
20. **Гуревич Ю.Е., Кабиков К.В., Кучеров Ю.Н.** Неотложные задачи надежности электроснабжения промышленных потребителей // Электричество. 2005. № 1. С. 3—14.
18. **Varganova A.V., Goncharova I.N., Bayramgulova Yu.M., Efimova V.A.** Metodika Otsenki Effektivnosti Vnedreniya Istochnikov Raspredelennoy Generatsii. Vestnik YUUGU. Seriya «Energetika». 2019;4:52—58. (in Russian).
19. **Kartashov I.I., Ryzhov Yu.P.** Sposoby i Sredstva Upravleniya Rezhimami Elektroenergeticheskikh Sistem i Kachestvom Elektroenergii. Elektrichestvo. 2007;9: 20—25. (in Russian).
20. **Gurevich Yu.E., Kabikov K.V., Kucherov Yu.N.** Neotlozhnye Zadachi Nadezhnosti Elektrosnabzheniya Promyshlennykh Potrebiteley //Elektrichestvo. 2005. № 1. S. 3—14. (in Russian).

**Сведения об авторе:**

**Кандауров Андрей Викторович** — кандидат технических наук, доцент, начальник инженерной службы войсковой части № 05776, Улан-Удэ, e-mail: kandaurov\_2000@inbox.ru

**Information about author:**

**Kandaurov Andrey V.** — Ph.D. (Techn.), Assistant Professor, Head of the Engineering Service of the Military Unit No. 05776, Ulan-Ude, e-mail: kandaurov\_2000@inbox.ru

**Статья поступила в редакцию: 24.11.2022**

**The article received to the editor: 24.11.2022**

**Статья принята к публикации: 06.06.2023**

**The article has been accepted for publication: 06.06.2023**