Поступила в редакцию *01.09.2022*

УДК 351.86 DOI: 10.37816/2713-0789-2023-3-1(8)-94-111

Оптимизация электротехнических средств для электроснабжения потребителей

В. А. Седнев[*], А. В. Смуров[*,1]

** Академия государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Москва, Россия*

Аннотация

В статье предложен научно-методический подход оценки устойчивости и оптимальности построения структуры электротехнических средств (ЭТС), обеспечивающих электроснабжение потребителей в условиях чрезвычайных ситуаций.

Предложенная методика может быть использована для разработки рекомендаций по оптимизации структур ЭТС, а результаты ее могут быть положены в основу прогнозирования потребностей в ЭТС для обеспечения электроэнергетической безопасности территорий страны.

Ключевые слова

Оптимизация, электротехнические средства, потребители электрической энергии, устойчивость структуры, чрезвычайные ситуации.

Введение

Учитывая, что для электроснабжения объектов жизнеобеспечения и населения в чрезвычайных ситуациях могут использоваться различные автономные источники электроэнергии (ИЭЭ), в основе их выбора лежит сравнение технико-экономических показателей, которые можно разделить на два класса: показатели, характеризующие свойства внешней среды, с которой связаны основные элементы электроэнергетических систем (ЭЭС) (характеризующие режим электропотребления: число часов использования максимальной нагрузки и др.), и показатели используемых энергоресурсов; а также показатели, отражающие свойства ИЭЭ как элементов ЭЭС, которые целесообразно разделить на показатели, определяющие внешние связи ИЭЭ (с другими системами), и определяющие преимущественно их внутренние связи (между ИЭЭ в пределах ЭЭС).

Показатели первой группы формируют состав ограничений по оптимизации структуры электростанций (ЭС) ЭЭС, а, с другой стороны, влияют на приведенные затраты; показатели второй группы определяют приведенные затраты — показатель эффективности управления. При этом для ЭЭС характерны: множественность целей, сложность связей, иерархичность, вероятностный характер поведения,

[1] *Для переписки*

Email: smur_36@bk.ru

непрерывность развития, вследствие чего управление ими существенно усложнилось. Поэтому требуется разработка более совершенных методов технико-экономической оптимизации структуры ИЭЭ, как одного из условий управления развитием региональных систем электроэнергетики.

Материалы и методы решения задач, принятые допущения

Для решения этой задачи предлагается использовать техноценологический подход [1–4], модели *H*-распределения которого позволяют исследовать движение видов электротехнических средств (ЭТС) и их численности. Для проверки соответствия случайной выборки — генеральной совокупности установленных ЭТС применим метод А. Н. Колмогорова [3], где сравнение производится не по статистическому среднему, а по функциям распределения сравниваемых выборок. Устойчивость видового распределения описывается моделью *H*-распределения, имеющей два основных параметра: размер системы R и характеристический показатель α [1, 3]. Исследование динамики *H*-распределения представляет собой [3, 5] качественное описание закономерностей процессов сменяемости численности каждого вида с учетом изменения соотношения между количеством видов ЭТС и их численностью. Динамика *H*-распределения в целом (I рода) формализуется моделированием параметров *H*-распределения во времени и переходом к поверхности. Суть модели состоит в том, что имеющийся ряд экстраполируется вперед и собирается сложением для формирования прогноза. Причем форма кривой *H*-распределения не изменяется, а может лишь колебаться в пределах границы коэффициента видового разнообразия ЭТС α.

Если требуется определить конкретные виды ЭТС и их численность, может быть осуществлен переход к структурно-топологической динамике (СТД) [3–8], когда исследуются траектории движения каждой точки по плоскости *H*-распределения. Синтез видовой структуры состоит из прогноза численности видов ЭТС и построения видового распределения по прогнозным значениям. Устойчивость структуры ЭТС определяется устойчивостью значений характеристического показателя, а устойчивость композиций функций распределения групп ЭТС выражается в сохранении формы негауссовых распределений.

Результаты

Методика обоснования видового состава ЭТС проверялась на статистическом материале. Исследование осуществляется [2, 9-12] в следующем порядке: в качестве объекта выделяется МЧС России, который, одновременно, является сообществом слабосвязанных и слабовзаимодействующих элементов; из него выделяется семейство объектов — в нашем случае под объектами понимаются подразделения МЧС России, сосредоточенные на территории Центрального федерального округа; вводится понятие вида, в данном случае вид — наименование ЭТС и элементов электротехнических изделий; производится ранжирование и строятся математические модели (таблица 1): ранговое видовое распределение — распределение ЭТС по убыванию исследуемого параметра; и видовое распределение — распределение видов по повторяемости; проводится обработка результатов и определяются параметры моделирующих функций. Для математического описания рассмотрим ранговое видовое *H*-распределение (рисунок 1) в координатах: ранг (номер по порядку при расположении ЭТС в порядке уменьшения численности их групп) — количество ЭТС в виде (таблица 2). Для этого необходимо проранжировать виды

ЭТС по численности, т.е. вид, количество наименований ЭТС в котором максимально, получает ранг r=1, r=2 получит вид, имеющий максимальную численность ЭТС из остальных, и т.д. Ранговое видовое *H*-распределение может быть преобразовано в видовое. Совокупности видов, каждый из которых представлен равным количеством ЭТС, образуют касты.

Видовое распределение — распределение ЭТС одинаковой численности по группам видов (таблица 3). Рассмотрим видовое распределение в координатах: численность ЭТС одного вида — число видов с такой численностью (рисунок 2). Устойчивость структуры проявляется изменениями H-распределения в пределах характеристического показателя $0{,}5<\alpha<2$. Кривая H-распределения характеризуется тем, что 40–60 % видов ЭТС уникально, и 60–40 % общего количества наименований является часто встречающимися.

Данный подход также рассмотрен на примере Генеральной схемы размещения объектов электроэнергетики до 2020 года (Генсхема), которая содержит перечень типов энергоблоков (таблица 4, рисунок 3), планируемых к строительству. В качестве объекта выделена Генсхема; семейство элементарных объектов — типы энергоблоков; вид — паровые конденсационные турбины (таблица 5, рисунок 4).

Таблица 1 — Виды H-распределений

Распределение	Ось абсцисс	Ось ординат	Форма записи *H*-распределения
Видовое	Численность группы ЭТС или изделий одного вида. Дискретно.	Количество видов в группе (количество видов с одинаковым количеством ЭТС и изделий). Дискретно.	$W_i=A/X_i^{(1+\alpha)}$
Ранговое видовое	Ранг (первый ранг имеет вид ЭТС или изделий с максимальной численностью). Дискретно.	Количество ЭТС и изделий в виде (типы). Дискретно.	$\Omega(r) = B/r^{\beta}$, B и $\beta>0$ — константы рангового видового распределения

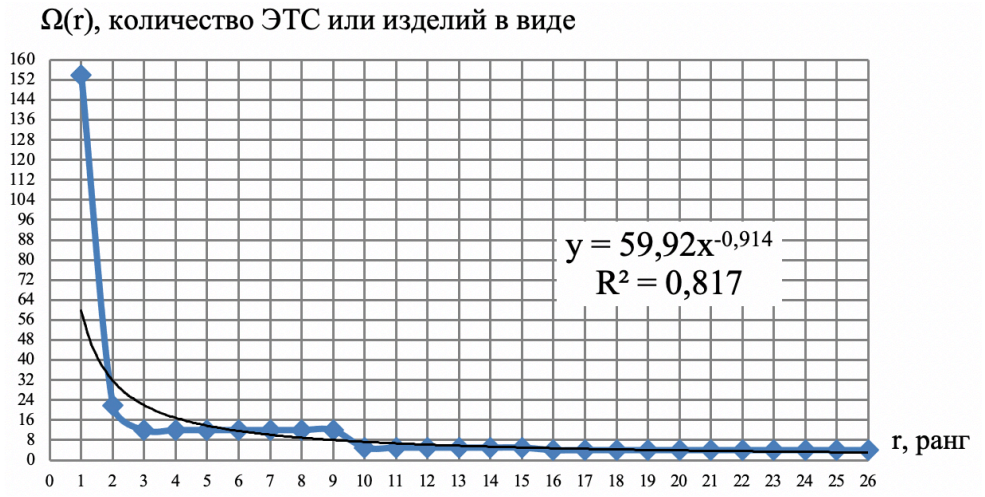

Рисунок 1 - Ранговое видовое *H*-распределение ЭТС и изделий

Таблица 2 — Данные для построения рангового видового распределения ЭТС и изделий

Ранг	Наименование ЭТС и изделий	Количество в виде
1	Фонарь электрический индивидуальный	154
2	Бензопила с набором цепей	22
3	Фонарь электрический групповой с зарядным устройством	12
4	Электродрель	12
5	Электроперфоратор	12
6	Углошлифовальная машина	12
7	Электропила дисковая	12
8	Электропила цепная	12
9	Бензорез	12
10	Переносная электростанция (ЭС) осветительная бензиновая или дизельная на 2 кВт	5
11	Аварийно-спасательный инструмент гидродинамического действия	5
12	Комплект пневматического аварийно-спасательного инструмента	5
13	Аппарат электросварочный	5
14	Автогенорезательная установка	5
15	Мотопомпа	5
16	Переносная электростанция осветительная бензиновая или дизельная на 4 кВт	4
17	Передвижная электростанция силовая на 30-60 кВт	4
18	Мобильный осветительный комплекс типа МОК-ЧС	4
19	Гидроимпульсный инструмент для разрушения скальных пород и ж/бетонных конструкций	4
20	Аварийно-спасательный комплект для работ в колодцах	4
21	Электроножницы	4
22	Комплект газосварочного оборудования	4
23	Заточной станок для цепей бензопил	4
24	Мотоперфоратор	4
25	Подъемное устройство электрическое типа «Таль» 3-5 т или лебедка электрическая 5-10 т	4
26	Комплект аварийно-спасательных средств	4

Таблица 3 — Распределение ЭТС одинаковой численности по видам (по данным таблицы 2)

Численность группы ЭТС или изделий одного вида	Количество видов в группе	Наименование ЭТС и изделий
4	11	Электростанция осветительная на 4 кВт; передвижная силовая ЭС на 30–60 кВт; мобильный осветительный комплекс МОК-ЧС; гидроимпульсный инструмент; аварийно-спасательный комплект; электроножницы; комплект газосварочного оборудования; заточной станок; мотоперфоратор; подъемное устройство «Таль» 3-5 т или лебедка электрическая 5-10 т; комплект аварийно-спасательных средств
5	6	осветительная ЭС на 2 кВт; аварийно-спасательный инструмент гидродинамического действия; комплект пневматического аварийно-спасательного инструмента; аппарат электросварочный; автогенорезательная установка; мотопомпа
12	7	фонарь электрический групповой; электродрель; электроперфоратор; углошлифовальная машина; электропила дисковая; электропила цепная; бензорез
22	1	бензопила
154	1	фонарь электрический индивидуальный

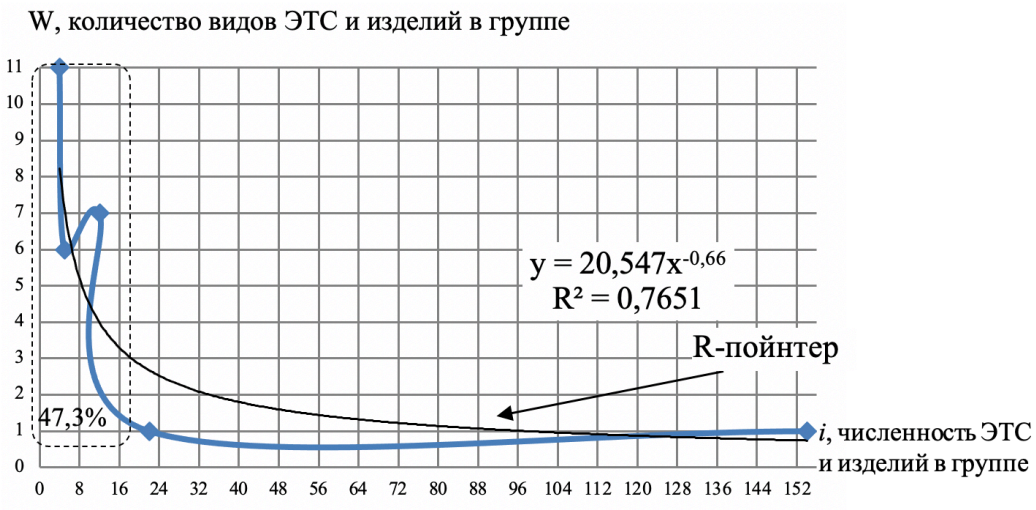

Рисунок 2 — Видовое H-распределение ЭТС

Таблица 4 — Ранговое видовое распределение энергоблоков, планируемых к строительству

Ранг	Наименование турбины	Кол-во турбин в виде	Ранг	Наименование турбины	Кол-во турбин в виде
1	Газовая турбина 270 МВт	96	34	Паровая теплофикационная турбина 35 МВт	4
2	Паровая конденсационная турбина 130 МВт	55	35	Гидравлическая турбина 333 МВт	4
3	Паровая конденсационная турбина 660 МВт	36	36	Гидравлическая турбина 325 МВт	4
4	Паровая конденсационная турбина 330 МВт	35	37	Гидравлическая турбина 210 МВт	4
5	Газовая турбина 160 МВт	34	38	Паровая конденсационная турбина 800 МВт (СКП)	3
6	Паровая теплофикационная турбина 24 МВт	24	39	Паровая теплофикационная турбина 60 МВт	3
7	Паровая турбина для атомных станций 1200 МВт	23	40	Паровая теплофикационная турбина 25 МВт	3
8	Газовая турбина 110 МВт	22	41	Газовая турбина 150 МВт	3
9	Газовая турбина 77 МВт	22	42	Гидравлическая турбина 155 МВт	3
10	Паровая конденсационная турбина 300 МВт	17	43	Гидравлическая турбина 107 МВт	3
11	Гидравлическая турбина 200 МВт	13	44	Паровая конденсационная турбина 800 МВт	2
12	Паровая теплофикационная турбина 160 МВт	12	45	Паровая конденсационная турбина 600 МВт (СКП)	2
13	Паровая теплофикационная турбина 53 МВт	11	46	Паровая конденсационная турбина 110 МВт	2
14	Паровая теплофикационная турбина 180 МВт	11	47	Паровая конденсационная турбина 60 МВт	2
15	Газовая турбина 65 МВт	11	48	Паровая теплофикационная турбина 300 МВт	2
16	Паровая конденсационная турбина 225 МВт	9	49	Паровая теплофикационная турбина 105 МВт	2
17	Паровая теплофикационная турбина 110 МВт	9	50	Паровая теплофикационная турбина 40 МВт	2
18	Паровая конденсационная турбина 900 МВт (СКП)	8	51	Газовая турбина 45 МВт	2
19	Газовая турбина 75 МВт	8	52	Гидравлическая турбина 215 МВт	2
20	Газовая турбина 70 МВт	8	53	Гидравлическая турбина 170 МВт	2
21	Гидравлическая турбина 195 МВт	8	54	Гидравлическая турбина 165 МВт	2
22	Гидравлическая турбина 1000 МВт	8	55	Гидравлическая турбина 150 МВт	2
23	Паровая теплофикационная турбина 130 МВт	7	56	Гидравлическая турбина 110 МВт	2
24	Паровая теплофикационная турбина 100 МВт	7	57	Паровая конденсационная турбина 215 МВт	1
25	Паровая турбина для атомных станций 300 МВт	6	58	Паровая конденсационная турбина 210 МВт	1
26	Гидравлическая турбина 220 МВт	6	59	Паровая конденсационная турбина 160 МВт	1
27	Паровая теплофикационная турбина 208 МВт	5	60	Паровая конденсационная турбина 100 МВт	1
28	Паровая теплофикационная турбина 185 МВт	5	61	Паровая конденсационная турбина 53 МВт	1
29	Газовая турбина 200 МВт	5	62	Паровая теплофикационная турбина 250 МВт	1
30	Гидравлическая турбина 300 МВт	5	63	Паровая теплофикационная турбина 65 МВт	1
31	Гидравлическая турбина 100 МВт	5	64	Газовая турбина 265 МВт	1
32	Паровая конденсационная турбина 75 МВт	4	65	Паровая турбина для атомных станций 1000 МВт	1
33	Паровая теплофикационная турбина 80 МВт	4	66	Паровая турбина для атомных станций 800 МВт	1

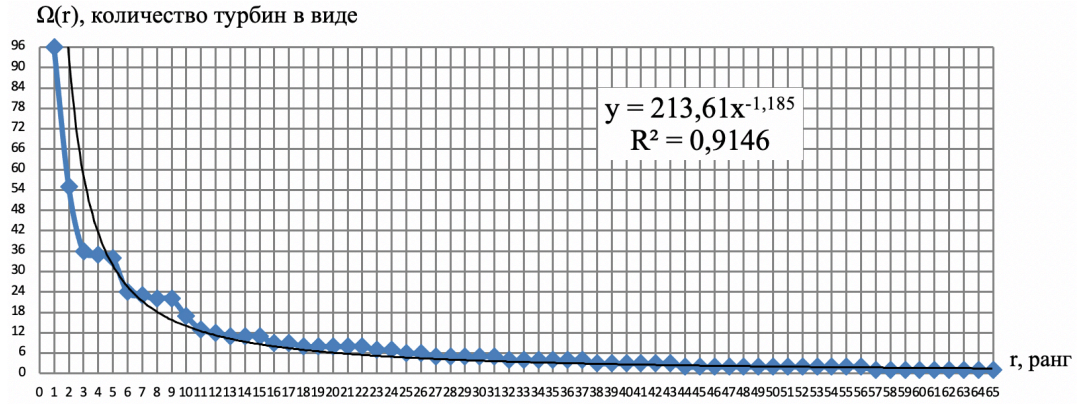

Рисунок 3 — Ранговое видовое H-распределение типов энергоблоков

Таблица 5 — Данные для построения рангового видового распределения паровых конденсационных турбин (ПКТ)

Ранг	Наименование турбин	Кол-во турбин в виде	Ранг	Наименование турбин	Кол-во турбин в виде
1	ПКТ 130 МВт	55	10	ПКТ 600 МВт (ССКП)	2
2	ПКТ 660 МВт	36	11	ПКТ 110 МВт	2
3	ПКТ 330 МВт	35	12	ПКТ 60 МВт	2
4	ПКТ 300 МВт	17	13	ПКТ 215 МВт	1
5	ПКТ 225 МВт	9	14	ПКТ 210 МВт	1
6	ПКТ 900 МВт (ССКП)	8	15	ПКТ 160 МВт	1
7	ПКТ 75 МВт	4	16	ПКТ 100 МВт	1
8	ПКТ 800 МВт (ССКП)	3	17	ПКТ 53 МВт	1
9	ПКТ 800 МВт	2			

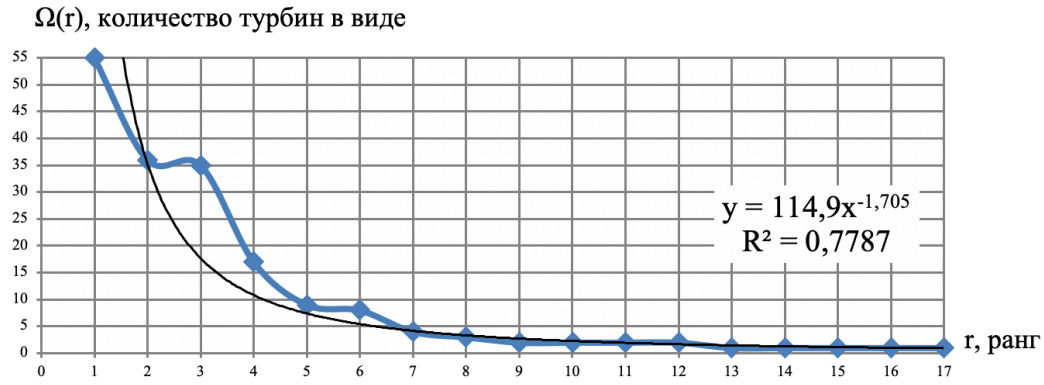

Рисунок 4 — Ранговое видовое H-распределение ПКТ

В каждой системе существует одна редкая группа, где каждый вид представлен одним ЭТС, и часто встречающиеся группы ЭТС, каждое из которых содержит по одному виду, численность которых велика. Существует на *H*-распределении пойнтер-точка R — такое значение аргумента X=R, при которой значение функции *H*-распределения строго равно 1. Ранговое видовое распределение преобразовано в видовое (таблица 6, рисунок 5). Как видно, Генсхема предполагает

использование 66 типов турбин, из них 46 — для тепловых станций; газовых турбин мощностью 65 МВт и более предусмотрено 10 типов, хотя ведущие производители (Siemens, General Electric, и др.) имеют лишь 3–4 типа.

Таблица 6 — Распределение ПКТ одинаковой численности по видам

Численность турбин в группе	Количество видов ПКТ в группе	Наименование ПКТ
1	5	ПКТ 215 МВт; ПКТ 210 МВт; ПКТ 160 МВт; ПКТ 100 МВт; ПКТ 53 МВт
2	4	ПКТ 800 МВт; ПКТ 600 МВт (ССКП); ПКТ 110 МВт; ПКТ 60 МВт
3	1	ПКТ 800 МВт (ССКП)
4	1	ПКТ 75 Вт
8	1	ПКТ 900 МВт (ССКП)
9	1	ПКТ 225 Вт
17	1	ПКТ 300 Вт
35	1	ПКТ 330 Вт
36	1	ПКТ 660 Вт
55	1	ПКТ 130 Вт

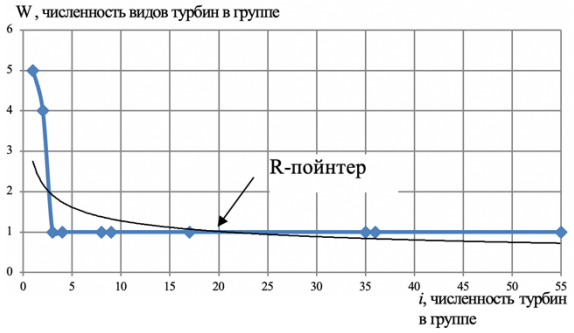

Рисунок 5 — Видовое H-распределение ПКТ

Заключение

Высокое разнообразие означает значительный уровень затрат на всех стадиях жизненного цикла энергоблока, при том, что типовые проекты позволяют осуществлять серийное производство оборудования и увеличивать надежность систем электроснабжения. Таким образом, методика может быть использована для разработки рекомендаций по оптимизации структур электротехнических средств (ЭТС), а результаты ее могут быть положены в основу прогнозирования потребностей в ЭТС для обеспечения электроэнергетической безопасности территорий страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1]. Седнев В. А. Вопросы теории и практики использования техноценологических моделей. *Ценологические исследования. №28. Материалы двух конференций.* Москва, 2005, с. 488–492.

[2]. Седнев В. А. Техноценологические методы построения и управления развитием многоуровневых систем. Монография. М.: Академия ГПС МЧС России, 2008, 132 с.

[3]. Кудрин Б. И., Седнев В. А. Техноценологическая теория и ее применение для решения проблем безопасного и устойчивого развития сельских территорий и населения. *Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций*, 2015, № 4, с. 72–92.

[4]. Седнев В. А., Смуров А. В. Теоретические основы оценки устойчивости электроэнергетического обеспечения субъектов Российской Федерации. *Обеспечение безопасности жизнедеятельности населения и защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций. Материалы научно-практической конференции.* Москва, 2018, с. 181–190.

[5]. Седнев В. А., Смуров А. В. Методика оценки устойчивости электроэнергетического обеспечения субъектов Российской Федерации. *Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация,* 2015, № 1, с. 61–68.

[6]. Седнев В. А., Смуров А. В. Методы и особенности обоснования мероприятий по обеспечению электроэнергетической безопасности субъектов Российской Федерации. *Современные*

технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Воронежский Институт ГПС МЧС России, 2017, № 1-1(8), с. 184–186.

[7]. Седнев В. А. Оценка устойчивости и пути повышения эффективности электроэнергетического обеспечения электротехнических комплексов. *Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму*, 2015, № 11–12, с. 126–132.

[8]. Седнев В. А. Методика оценки и оптимизации структуры видового состава электротехнических средств системы электроснабжения. *Промышленная энергетика.* 2016, № 7, с. 38–46.

[9]. Седнев В. А., Смуров А. В. Предложения по повышению эффективности работ по электроснабжению объектов. *Материалы научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню гражданской обороны.* М.: Академия ГПС МЧС России. 2017, с. 130–137.

[10]. Седнев В. А. О развитии и формализации методологии расчета электрических нагрузок и прогнозирования параметров электропотребления объектов в национальном стандарте. *Промышленная энергетика*, № 5, 2017, с. 51–54.

[11]. Седнев В. А. Основы прогнозирования устойчивости функционирования субъекта Российской Федерации в военное время. *Технологии техносферной безопасности,* 2017, № 5(75), с. 77–86.

[12]. Седнев В. А., Седнев А. В. Научно-методический подход оценки структуры экономики региона (страны) и обоснования путей повышения ее устойчивости и эффективности развития. *Проблемы управления рисками в техносфере*, 2018, № 4(48), с. 109–114.

Седнев Владимир Анатольевич — д–р техн. наук, профессор, профессор кафедры гражданской обороны, защиты населения и территорий, Академия государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (Российская Федерация, 129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4).

Смуров Артем Владимирович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры гражданской обороны, защиты населения и территорий, Академия государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (Российская Федерация, 129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4).

Optimization of electrical equipment for power supply to consumers

V. A. Sednev[*], A. V. Smurov[*,1]

** Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Disaster Relief, Moscow, Russia*

Abstract

A scientific and methodological approach is proposed for assessing the stability and optimality of constructing the structure of electrical equipment that provides power supply to consumers in emergency situations. The methodology can be used to develop recommendations for optimizing the electrical equipment structures, and its results can be used as the basis for forecasting the needs for electrical equipment to ensure the electric power security of the country's territories.

Keywords

Optimization, electrical equipment, consumers of electrical energy, stability of the structure, emergency situations

Introduction

Given that various autonomous sources of electricity (IEE) can be used to supply life-support facilities and the population in emergency situations, their choice is based on a comparison of technical and economic indicators, which can be divided into two classes: indicators characterizing the properties the external environment with which the main elements of electric power systems (EPS) are connected (characterizing the mode of power consumption: the number of hours of using the maximum load, etc.), and indicators of the energy resources used; as well as indicators that reflect the properties of the IEE as elements of the EES, which it is advisable to divide into indicators that determine the external relations of the IEE (with other systems) and determine mainly their internal relations (between the IEE within the EES).

The indicators of the first group form the composition of the restrictions on optimizing the structure of power plants (ES) of the EPS, and, on the other hand, affect the reduced costs; indicators of the second group determine the reduced costs - an indicator of management efficiency. At the same time, EES is characterized by: a plurality of goals, complexity of relationships, hierarchy, probabilistic nature of behavior, continuity of development, as a result of which their management has become much more complicated. Therefore, it is required to develop more advanced methods of technical and economic optimization of the IEE structure as one of the conditions for managing the development of regional power industry systems.

Data and methods for solving problems, accepted assumptions

To solve this problem, it is proposed to use a technocenological approach [1,4], whose

[1] *Corresponding author*
Email: smur_36@bk.ru

H-distribution models allow us to study the movement of types of electrical equipment (ETS) and their numbers. To check the compliance of a random sample - the general population of established ETS, we apply the method of A. N. Kolmogorov [3], where the comparison is made not by the statistical average, but by the distribution functions of the compared samples. The stability of the species distribution is described by the H-distribution model, which has two main parameters: the size of the system R and the characteristic index α [1,3]. The study of the dynamics of H-distribution is [3,5] a qualitative description of the regularities of the processes of the turnover of the abundance of each species, taking into account the change in the ratio between the number of ETS species and their abundance. The dynamics of the H-distribution as a whole (of the first kind) is formalized by modeling the parameters of the H-distribution in time and passing to the surface. The essence of the model is that the existing series is extrapolated forward and collected by addition to form a forecast. Moreover, the shape of the H-distribution curve does not change, but can only fluctuate within the boundaries of the ETS species diversity coefficient.

If it is required to determine specific types of ETS and their number, a transition to structural-topological dynamics (STD) [3-8] can be carried out, when the trajectories of movement of each point along the H-distribution plane are studied. The synthesis of the species structure consists of forecasting the number of ETS species and constructing the species distribution according to the predicted values. The stability of the ETS structure is determined by the stability of the values of the characteristic index, and the stability of the compositions of the distribution functions of the ETS groups is expressed in the preservation of the form of non-Gaussian distributions.

Results

The methodology for substantiating the species composition of the ETS was tested on statistical material. The study is carried out [2,9-12] in the following order: as an object, the regional center of the Ministry of Emergency Situations of Russia is singled out, which, at the same time, is a community of weakly connected and weakly interacting elements; a family of objects is distinguished from it, - in our case, objects are understood as subdivisions of the regional center (RC); the concept of type is introduced, in this case, type is the name of the ETS and elements of electrical products; ranking is performed and mathematical models are built (Table 1): rank species distribution — distribution of ETS in descending order of the parameter under study; and species distribution, — distribution of species by frequency; the results are processed and the parameters of the modeling functions are determined. For a mathematical description, let us consider the rank species H-distribution (Fig. 1) in the following coordinates: rank (number in order when the ETS are located in decreasing order of the number of their groups) — the number of ETS in the form (Table 2). To do this, it is necessary to rank the types of ETS by number, i.e. the species with the maximum number of ETS names gets the rank r=1, r=2 will get the species with the maximum number of ETS from the rest, and so on. The rank specific H-distribution can be converted to a specific one. Sets of species, each of which is represented by an equal number of ETS, form castes.

This approach is also considered on the example of the General Scheme for locating electric power facilities until 2020 (General Scheme), which contains a list of types of power units (Table 4, Fig. 3) planned for construction. The Genscheme was singled out as an object; family of elementary objects -

types of power units; view - steam condensing turbines (Table 5, Fig. 4).

Table 1 — Types of H-distributions

Distribution	Here is the abscissa	Here is the ordinate	Entry form H-distributions
Species	The number of ETS group or products of the same type. Discretely.	The number of species in the group (the number of species with the same number of ETS and products). Discretely.	$W_i=A/X_i^{(1+\alpha)}$
Ranked specific	Rank (the first rank has the form of ETS or products with the maximum number). Discretely.	The number of ETS and products in the form (types). Discretely.	$\Omega(r) = B/r^{\beta}$, B and $\beta>0$ are the constants of the rank species distribution

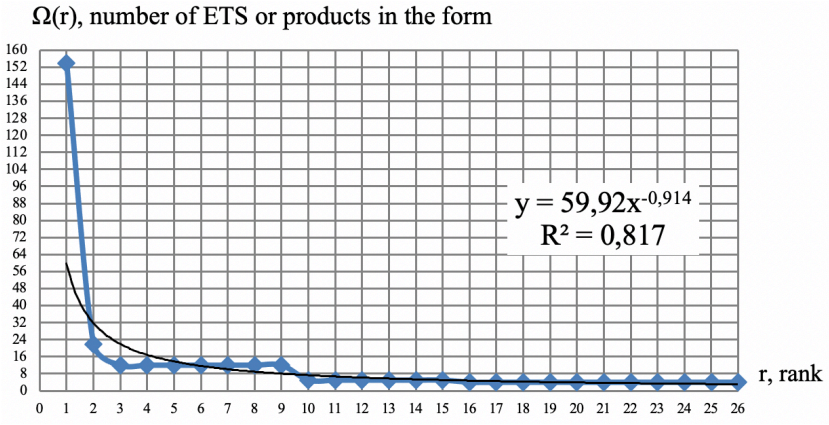

Figure 1 — Rank specific H-distribution of ETS and products

Table 2 — Data for constructing the rank species distribution of ETS and products

Rank	Name of electrical equipment and products	Quantity as
1	Individual electric lantern	154
2	Chainsaw with chain set	22
3	Group electric lantern with charger	12
4	Electric drill	12
5	Electric perforator	12
6	Angle grinder	12
7	Circular saw	12
8	Chain saw	12
9	Petrol cutter	12
10	Portable power plant lighting gasoline or diesel 2 kW	5
11	Rescue tool of hydrodynamic action	5
12	Pneumatic Rescue Tool Kit	5
13	Electric welding machine	5
14	Autogenetic cutting plant	5
15	Motor pump	5
16	Portable power station lighting gasoline or diesel 4 kW	4
17	Mobile power plant for 30-60 kW	4
18	Mobile lighting complex type MOK-CHS	4
19	Hydraulic impulse tool for destruction of rocks and reinforced concrete structures	4
20	Well rescue kit	4
21	Electric scissors	4
22	Set of gas welding equipment	4
23	Chainsaw chain sharpener	4
24	Motor perforator	4

25	Lifting device electric type "Tal" 3-5 t or electric winch 5-10 t	4
26	Rescue Kit	4

Table 3 — Distribution of ETS of the same number by species (according to Table 2)

The number of ETS group or products of the same type	Quantity species in a group	Name of ETS and products
4	11	Lighting power plant for 4 kW; mobile power ES for 30-60 kW; mobile lighting complex МОК-ЧС; hydropulse tool; rescue kit; electric scissors; set of gas welding equipment; grinding machine; motor puncher; lifting device "Tal" 3-5 t or electric winch 5-10 t; rescue kit
5	6	lighting ES for 2 kW; rescue tool of hydrodynamic action; a set of pneumatic rescue tools; electric welding machine; autogenerating plant; motor pump
12	7	group electric lamp; electric drill; electric perforator; angle grinder; circular electric saw; chain saw; petrol cutter
22	1	chainsaw
154	1	individual electric lamp

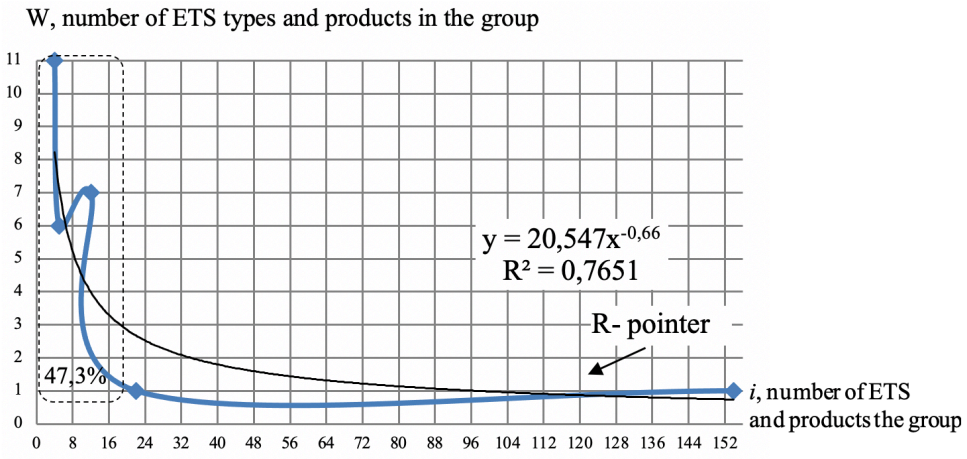

Figure 2 — Species H-distribution of ETS

Table 4 — Rank specific distribution of power units planned for construction

Rank	Turbine name	Quantity turbines in the form	Rank	Turbine name	Quantity turbines in the form
1	Gas turbine 270 MW	96	34	Steam cogeneration turbine 35 MW	4
2	Steam condensing turbine 130 MW	55	35	Hydraulic turbine 333 MW	4
3	Steam condensing turbine 660 MW	36	36	Hydraulic turbine 325 MW	4
4	Steam condensing turbine 330 MW	35	37	Hydraulic turbine 210 MW	4
5	Gas turbine 160 MW	34	38	Steam condensing turbine 800 MW (SSKP)	3
6	Steam cogeneration turbine 24 MW	24	39	Steam cogeneration turbine 60 MW	3
7	Steam turbine for nuclear power plants 1200 MW	23	40	Steam cogeneration turbine 25 MW	3
8	Gas turbine 110 MW	22	41	Gas turbine 150 MW	3
9	Gas turbine 77 MW	22	42	Hydraulic turbine 155 MW	3
10	Steam condensing turbine 300 MW	17	43	Hydraulic turbine 107 MW	3
11	Hydraulic turbine 200 MW	13	44	Steam condensing turbine 800 MW	2
12	Steam cogeneration turbine 160 MW	12	45	Steam condensing turbine 600 MW (SSKP)	2
13	Steam cogeneration turbine 53 MW	11	46	Steam condensing turbine 110 MW	2
14	Steam cogeneration turbine 180 MW	11	47	Steam condensing turbine 60 MW	2
15	Gas turbine 65 MW	11	48	Steam cogeneration turbine 300 MW	2
16	Steam condensing turbine 225 MW	9	49	Steam cogeneration turbine 105 MW	2
17	Steam cogeneration turbine 110 MW	9	50	Steam cogeneration turbine 40 MW	2
18	Steam condensing turbine 900 MW (SSKP)	8	51	Gas turbine 45 MW	2
19	Gas turbine 75 MW	8	52	Hydraulic turbine 215 MW	2
20	Gas turbine 70 MW	8	53	Hydraulic turbine 170 MW	2
21	Hydraulic turbine 195 MW	8	54	Hydraulic turbine 165 MW	2
22	Hydraulic turbine 1000 MW	8	55	Hydraulic turbine 150 MW	2
23	Steam cogeneration turbine 130 MW	7	56	Hydraulic turbine 110 MW	2
24	Steam cogeneration turbine 100 MW	7	57	Steam condensing turbine 215 MW	1
25	Steam turbine for nuclear power plants 300 MW	6	58	Steam condensing turbine 210 MW	1
26	Hydraulic turbine 220 MW	6	59	Steam condensing turbine 160 MW	1
27	Steam cogeneration turbine 208 MW	5	60	Steam condensing turbine 100 MW	1
28	Steam cogeneration turbine 185 MW	5	61	Steam condensing turbine 53 MW	1
29	Gas turbine 200 MW	5	62	Steam cogeneration turbine 250 MW	1
30	Hydraulic turbine 300 MW	5	63	Steam cogeneration turbine 65 MW	1
31	Hydraulic turbine 100 MW	5	64	Gas turbine 265 MW	1
32	Steam condensing turbine 75 MW	4	65	Steam turbine for nuclear power plants 1000 MW	1
33	Steam cogeneration turbine 80 MW	4	66	Steam turbine for nuclear power plants 800 MW	1

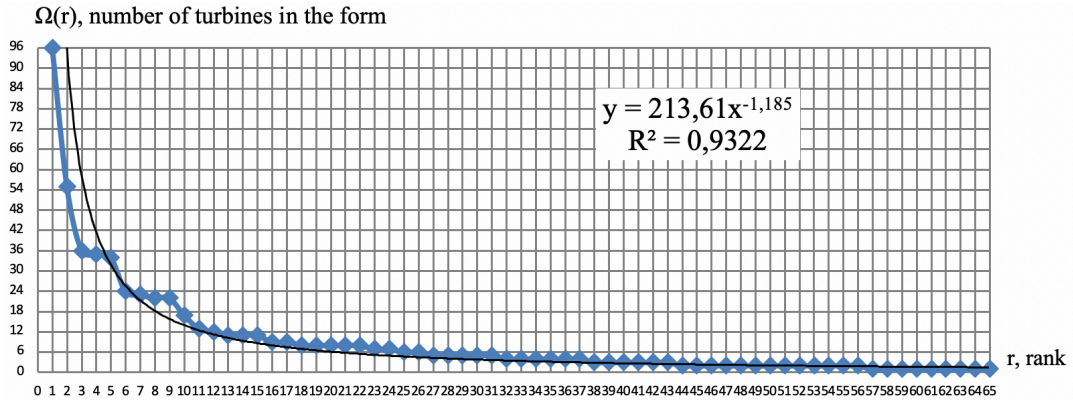

Figure 3 — Rank specific H-distribution of types of power units

Table 5 — Data for constructing the rank species distribution of steam condensing turbines (SCT)

Rank	Name of turbines	Number of turbines in the form	Rank	Name of turbines	Number of turbines in the form
1	PKT 130 MW	55	10	PKT 600 MW (SSKP)	2
2	PKT 660 MW	36	11	PKT 110 MW	2
3	PKT 330 MW	35	12	PKT 60 MW	2
4	PKT 300 MW	17	13	PKT 215 MW	1
5	PKT 225 MW	9	14	PKT 210 MW	1
6	PKT 900 MW	8	15	PKT 160 MW	1
7	PKT 75 MW	4	16	PKT 100 MW	1
8	PKT 800 MW (SSKP)	3	17	PKT 53 MW	1
9	PKT 800 MW	2			

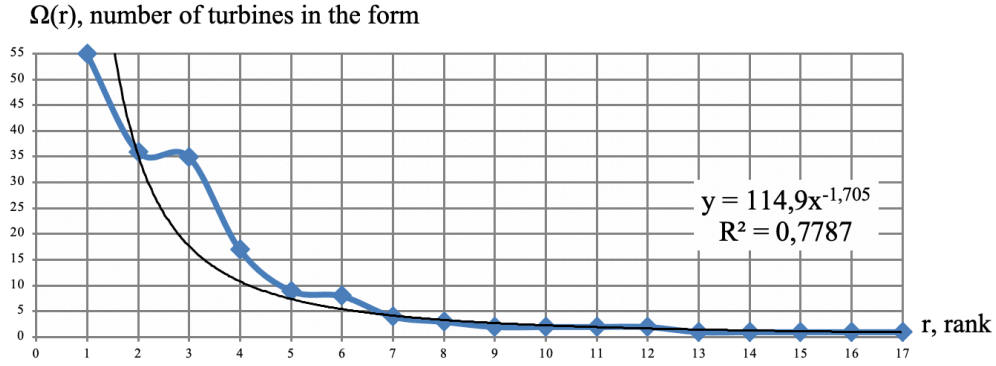

Figure 4 — Rank species H-distribution of PKT

Table 6 — Distribution of FKT of the same number by species

Number of turbines in the group	The number of types of PKT in the group	Name of PKT
1	5	PKT 215 MW PKT 210 MW; PKT 160 MW; PKT 100 MW; PKT 53 MW
2	4	PKT 800 MW; PKT 600 MW (SSKP); PKT 110 MW; PKT 60 MW
3	1	PKT 800 MW (SSKP)
4	1	PKT 75 MW
8	1	PKT 900 MW (SSKP)
9	1	PKT 225 MW
17	1	PKT 300 MW
35	1	PKT 330 MW
36	1	PKT 660 MW
55	1	PKT 130 MW

In each system, there is one rare group, where each species is represented by one ETS, and frequent groups of ETS, each of which contains one species, the abundance of which is large. There is a pointer-point R on the H-distribution — such a value of the

argument X=R, at which the value of the H-distribution function is strictly equal to 1. The rank species distribution is transformed into a species distribution (Table 6, Fig. 5). As can be seen, the General Scheme assumes the use of 66 types of turbines, of which 46 are for thermal power plants; There are 10 types of gas turbines with a capacity of 65 MW and more, although the leading manufacturers (Siemens, General Electric, etc.) have only 3–4 types.

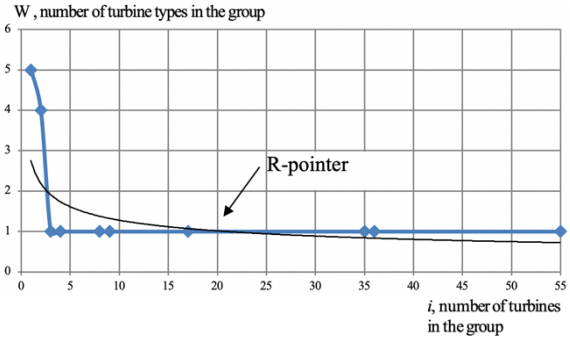

Figure 5 — Species H-distribution of PKT

Summary. High diversity means a significant level of costs at all stages of the life cycle of a power unit, while standard designs allow serial production of equipment and increase the reliability of power supply systems. Thus, the methodology can be used to develop recommen-dations for optimizing the ETS structures, and its results can be used as the basis for forecast-ing the needs for ETS to ensure the electric power security of the country's territories.

REFERENCES

[1]. Sednev V. A. Voprosy teorii i praktiki ispol'zovaniya tekhnotsenologicheskikh modeley [Issues of theory and practice of using technocenological models]. *Tsenologicheskiye issledovaniya [Cenological research]. No. 28. Materials of two conferences.* Moscow, 2005, pp. 488–492. (In Russ.)

[2]. Sednev V. A. Tekhnotsenologicheskiye metody postroyeniya i upravleniya razvitiyem mnogo-urovnevykh sistem. Monografiya [Technocenological methods of building and managing the development of multi-level systems. Monograph]. Moscow, Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia Publ., 2008, 132 p. (In Russ.)

[3]. Kudrin B. I., Sednev V. A. Tekhnotsenologicheskaya teoriya i yeye primeneniye dlya resheniya problem bezopasnogo i ustoychivogo razvitiya sel'skikh territoriy i naseleniya [Technocenological theory and its application for solving the problems of safe and sustainable development of rural areas and population]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy [Problems of safety and emergency situations]*, 2015, no. 4, pp. 72–92. (In Russ.)

[4]. Sednev V. A., Smurov A. V. Teoreticheskiye osnovy otsenki ustoychivosti elektroenergeticheskogo obespecheniya sub"yektov Rossiyskoy Federatsii. [Theoretical foundations for assessing the stability of the electric power supply of the constituent entities of the Russian Federation]. *Obespecheniye bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti naseleniya i zashchita naseleniya i territoriy ot chrezvychaynykh situatsiy. Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Ensuring the safety of the population and protecting the population and territories from emergencies. Materials of the scientific-practical conference*], Moscow, 2018, pp. 181–190. (In Russ.)

[5]. Sednev V. A., Smurov A. V. Metodika otsenki ustoychivosti elektroenergeticheskogo obespecheniya sub"yektov Rossiyskoy Federatsii [Methodology for assessing the stability of the electric power supply of the constituent entities of the Russian Federation]. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya [Fires and emergencies: prevention, liquidation]*, 2015, no. 1, pp. 61–68. (In Russ.)

[6]. Sednev V. A., Smurov A. V. Metody i osobennosti obosnovaniya

meropriyatiy po obespecheniyu elektroenergeticheskoy bezopasnosti sub"yektov Rossiyskoy Federatsii [Methods and features of the substantiation of measures to ensure the electric power safety of the constituent entities of the Russian Federation]. *Sovremennyye tekhnologii obespecheniya grazhdanskoy oborony i likvidatsii posledstviy chrezvychaynykh situatsiy. Voronezhskiy Institut GPS MCHS Rossii [Modern technologies for civil defense and emergency response. Voronezh Institute of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia]*, 2017, no. 1-1(8), pp. 184–186. (In Russ.)

[7]. Sednev V. A. Otsenka ustoychivosti i puti povysheniya effektivnosti elektroenergeticheskogo obespecheniya elektrotekhnicheskikh kompleksov [Assessment of sustainability and ways to improve the efficiency of electric power supply of electrical complexes]. *Voprosy oboronnoy tekhniki. Seriya 16: Tekhnicheskiye sredstva protivodeystviya terrorizmu [Questions of defense technology. Series 16: Technical means of countering terrorism]*, 2015, no. 11–12, pp 126–132. (In Russ.)

[8]. Sednev V. A. Metodika otsenki i optimizatsii struktury vidovogo sostava elektrotekhnicheskikh sredstv sistemy elektrosnabzheniya [Methodology for assessing and optimizing the structure of the species composition of electrical equipment of the power supply system]. *Promyshlennaya energetika [Industrial energy]*, 2016, no. 7, pp. 38–46. (In Russ.)

[9]. Sednev V. A., Smurov A. V. Predlozheniya po povysheniyu effektivnosti rabot po elektrosnabzheniyu ob"yektov [Proposals to improve the efficiency of work on the power supply of facilities]. *Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy Vsemirnomu dnyu grazhdanskoy oborony [Materials of the scientific-practical conference dedicated to the World Civil Defense Day]*. Moscow, Academy of GPS EMERCOM of Russia, 2017, pp. 130-137. (In Russ.)

[10]. Sednev V. A. O razvitii i formalizatsii metodologii rascheta elektricheskikh nagruzok i prognozirovaniya parametrov elektropotrebleniya ob"yektov v natsional'nom standarte [On the development and formalization of the methodology for calculating electrical loads and predicting the parameters of power consumption of objects in the national standard]. *Promyshlennaya energetika [Industrial energy]*, 2017, no. 5, pp. 51–54. (In Russ.)

[11]. Sednev V. A. Osnovy prognozirovaniya ustoychivosti funktsionirovaniya sub"yekta Rossiyskoy Federatsii v voyennoye vremya [Fundamentals of predicting the stability of the functioning of the subject of the Russian Federation in wartime]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti [Technologies of technosphere safety*], 2017, no. 5(75), pp. 77–86. (In Russ.)

[12]. Sednev V. A., Sednev A. V. Nauchno-metodicheskiy podkhod otsenki struktury ekonomiki regiona (strany) i obosnovaniya putey povysheniya yeye ustoychivosti i effektivnosti razvitiya [Scientific and methodological approach to assessing the structure of the economy of a region (country) and substantiating ways to increase its sustainability and development efficiency]. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere [Problems of risk management in the technosphere*], 2018, no. 4(48), pp. 109–114. (In Russ.)

Sednev V. A. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Civil Defense, Population and Territory Protection, Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Liquidation consequences of natural disasters (Boris Galushkin st., 4, Moscow, 129366, Russian Federation).

Smurov A. V. — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Assoc. Professor of the Department of Civil Defense, Protection of the Population and Territories, Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Liquidation consequences of natural disasters (Boris Galushkin st., 4, Moscow, 129366, Russian Federation).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Оптимизация электротехнических средств для электроснабжения потребителей / В. А. Седнев, А. В. Смуров // Промышленные процессы и технологии. 2023. Т. 3. № 1(8). С. 94 – 111.

DOI: 10.37816/2713-0789-2023-3-1(8)-94-111.

Please cite this article as:

Sednev V. A., Smurov A. V. Optimization of electrical equipment for power supply to consumers. Industrial processes and Technologies, 2023, vol. 3, no. 1(8), pp. 94 – 111.

DOI: 10.37816/2713-0789-2023-3-1(8)-94-111