

УДК 622.271.4: 622.684

Паскарь Иван Николаевич, старший преподаватель, **Фролова Мария Вячеславовна**, магистрант

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева,
650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

E-mail: paskar-ivan@mail.ru

ИНТЕРВАЛЬНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ТЕХНОЦЕНОЗА ПО ПАРАМЕТРУ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРИМЕРЕ ПРОКОПЬЕВСКОГО РАЙОНА КУЗБАССА

***Аннотация:** В данной статье муниципальный район Кемеровской области рассмотрен как техноценоз. Выделены предпосылки по внедрению объектов распределенной генерации. Для экономически и технически обоснованного внедрения источников электроэнергии выбран техноценологический подход, разработанный Б.И. Кудриным. Проведены процедуры верификации и визуализации техноценоза, а также выявлены «аномальные» объекты (населенные пункты), которые подлежат особой проработке при оптимизации системы электроснабжения.*

***Ключевые слова:** техноценоз, ранговый анализ, электропотребление, интервальное оценивание, Н-распределение, оптимизация СЭС*

***Информация о статье:** принята 12 октября 2020 г.
DOI: 10.26730/1816-4528-2020-5-64-70*

1. Введение

Актуальность исследования обоснована тем, что на сегодняшний день, в стране возникла острая необходимость больших инвестиций в электроэнергетику в связи исчерпанием своего ресурса десятками ТЭС, построенных 40-50 лет назад. По данным Министерства энергетики РФ наблюдается тенденция к физическому и моральному износу оборудования электростанций. Около 40% генерирующего оборудования находится в неудовлетворительном состоянии. К 2035 году потребуются реконструировать или заменить новыми генерирующими мощностями не менее 70 ГВт, вырабатываемых на износившихся ТЭС. [1]

Также нельзя не отметить, что рост электропотребления согласно докладу МЭК к 2040 году, в связи с развитием новых энергоёмких технологий спрос на электроэнергию увеличится на 60%. [12]

На сегодняшний день в целях энергоэффективности сложилась общемировая тенденция ухода потребителей от исключительно централизованного энергоснабжения. По данным агентства Bloomberg New Energy Finance (BNEF) на 2018 год, 50 % введенных мощностей в мире пришлось на объекты распределенной генерации. [8, 11]

При анализе балансов мощности и электроэнергии региона было выявлено, что, исходя из вышеперечисленных факторов, можно отметить, что внедрение объектов распределенной генерации в существующую СЭС является перспективным

направлением, которое, в свою очередь, позволит избежать энергодефицита региона, повысить его энергетическую безопасность, а также положительно повлиять на экономическую ситуацию в регионе. [6, 7, 9, 10]

Целью данной работы является разработка методики для определения оптимальной структуры СЭС выбранного объекта по параметру электропотребления, посредством рангового анализа для повышения энергобезопасности и надежности СЭС региона в долгосрочной перспективе.

В соответствии с поставленной целью, в работе решаются следующие задачи:

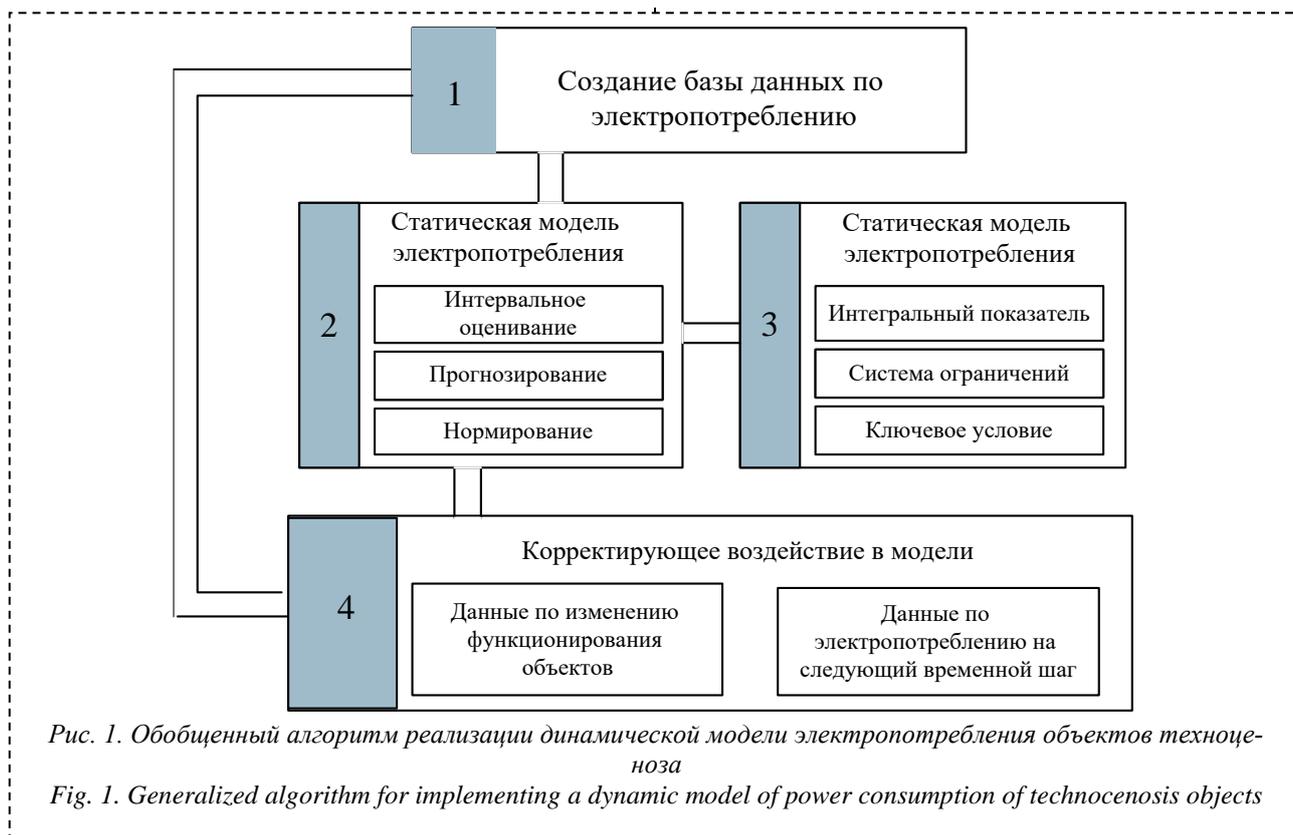
1. Анализ структуры потребления объекта.
2. Выявление «аномальных» точек в структуре электропотребления района.

2. Идея методики

В данной работе предлагается рассматривать систему электроснабжения Прокопьевского района Кемеровской области, как техноценоз. Понятие техноценоза, как новый вид ценозов, было впервые рассмотрено Б.И. Кудриным. Под техноценозом понимается ограниченное в пространстве и времени, имеющее слабые связи, любое выделенное единство, включающее сообщество изделий. [3]

Отличия техноценозов от отдельных технических изделий заключаются:

- Тип связей (для техноценозов-слабые, для технических изделий-сильные).



– Количество элементов (у технического изделия, определено конструкторской документацией, у техноценоза может быть бесконечное множество).

– Границы (у технического изделия четко определены документацией, а границы техноценоза являются нечеткими).

– Наличие системы параметров (свойственно исключительно для технического изделия).

– Развитие-изменение свойств с течением времени (свойственно только техноценозу).

– Математический аппарат теории вероятностей и математической статистики не пригоден для исследования техноценозов, но при этом остаётся весьма полезным при рассмотрении совокупности технических изделий одного вида.

То есть, если рассматривать СЭС региона, как техноценоз, то к ней недопустимо применять традиционные методы расчета, основанные на математической статистике и теории вероятности. [5, 7]

Закон оптимального построения техноценозов нормирует соотношение между количественными и качественными показателями технических изделий, которые лежат в основе техноценоза. Эти законы позволяют предположить, что систему можно ввести в минимаксное состояние, то есть, оптимальное состояние, в котором положительный эффект увеличивается при минимальных затратах ресурсов.

Ранговый анализ - метод исследования сложных технических систем, включающий в себя их статический анализ и оптимизацию. Данный метод базируется на трех фундаментальных основаниях: на началах термодинамики, негауссовом распределении и технократическом подходе к окружающей реальности.

По методологии предложенной В.И. Гнатюком осуществить оптимизацию и привести систему в состояние минимакса возможно путем осуществления трех этапов: интервальное оценивание, нормирование и прогнозирование. Эти этапы лежат в основе рангового анализа техноценоза. [4]

Интервальное оценивание техноценозов позволяет определить объекты, которые отклоняются от нормального распределения и представляют собой объекты с аномальным использованием ресурсов. После выявления таких объектов необходимо проводить мероприятия, повышающие энергоэффективности и увеличивающие функциональные параметры техноценоза, данные мероприятия следует проводить до тех пор, пока не будут устранены «аномальные» точки, выходящие за границы доверительного интервала.

3. Математический аппарат методики

Для реализации динамической адаптивной модели электропотребления региона применим следующий алгоритм (рис. 1).

Особенностью данной модели является корректировка базы данных, которые изменяются в процессе моделирования, за счет наличия динамической обратной связи. Корректировка базы данных заключается в дополнении информации об исследуемом параметре с учетом вероятных изменений.

Чтобы смоделировать электропотребления отдельными особями техноценоза необходимо использовать функции следующего вида (2), которые возможно получить путем решения уравнения относительно базовой случайной величины X (1).

$$X = \phi(\eta) \quad (1)$$

$$\eta = \int_{-\infty}^x f(y) dy \quad (2)$$

где η - число, равномерно распределенное в интервале от 0 до 1, генерируемое датчиком случайных чисел;

y - абстрактная переменная интегрирования.

При отсутствии любого управляющего воздействия на СЭС, для определения функции плотности распределения вероятностей электропотребления используется нормальный закон (3-6), в обратном случае применяется закон Вейбулла-Гнеденко (3).

$$f(x) = \frac{1}{\delta_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\delta_x^2}} \quad (3)$$

где m_x - первичный начальный момент распределения, определяемое по формуле 4.

$$m_x = M^1 = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx \quad (4)$$

где δ_x - среднее квадратичное отклонение, определяемое по формуле 5.

$$\delta_x = \sqrt{D^1} = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x)^2 f(x) dx} \quad (5)$$

Плотность распределения по закону Вейбулла-Гнеденко определяется (6):

$$f_x = \begin{cases} \alpha \lambda x^{\alpha-1} e^{-\lambda x^\alpha}, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases} \quad (6)$$

где α и λ - параметры;

В процессе моделирования преобразующая функция общего вида (7) используется следующим образом:

– нормальное распределение

$$w = m_w + \delta_w \phi_n(\eta, m_1, \delta_1) \quad (7)$$

где w - электропотребление объекта;

m_w и δ_w - математическое ожидание и среднее квадратичное отклонение соответственно, получаемые в ходе нормирования и прогнозирования;

$\phi_n(\eta, m_1, \delta_1)$ - функция нормального распределения.

– распределение Вейбулла-Гнеденко

$$w = m_w + \delta_w (\phi_v(\eta, \alpha, \lambda) - 1) \quad (8)$$

где $\phi_v(\eta, \alpha, \lambda)$ - функция Вейбулла-Гнеденко.

Простейшие преобразующие функции для первого случая (9), для второго (10)

$$w = m_w + \delta_w \xi \quad (9)$$

где ξ - случайное число, распределенное по нормальному закону с дисперсией равной единице и математическим ожиданием равным нулю.

$$w = \left(-\frac{1}{\lambda} \ln(\eta) \right)^{\frac{1}{\alpha}} \quad (10)$$

На форму распределения Вейбулла-Гнеденко влияет изменение параметра α . При $\alpha > 1$ распределение приобретает ассиметричную колоколообразную форму, при $\alpha = 1$ - экспоненциальную, а при $0 < \alpha < 1$ - гиперболическую.

Экссесс распределения характеризует параметр λ . То есть данный параметр определяет «ширину зоны принятия решений». Чем меньше его значение, тем зона будет шире, и наоборот. Данный параметр зависит от степени свободы системы управления по реализации воздействий, направленных на энергосбережение.

Для систем, имеющих управляющие воздействия, также должна быть определена функция полезности вида:

$$p_r^{dt}(u, v) = \int_0^\infty \int_0^\infty \rho(u, v) p(u, v) du dv \quad (11)$$

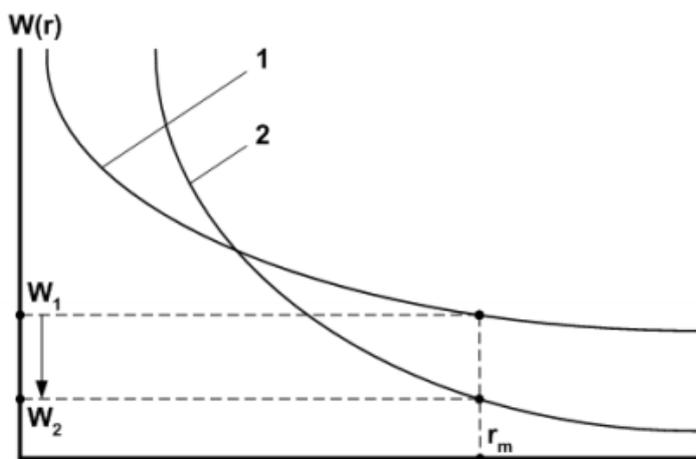


Рис. 2. Сравнение идеальной кривой H-распределения (1) с реальной (2) [4]

Fig.2. Comparison of the ideal H-distribution curve (1) with the real (2)

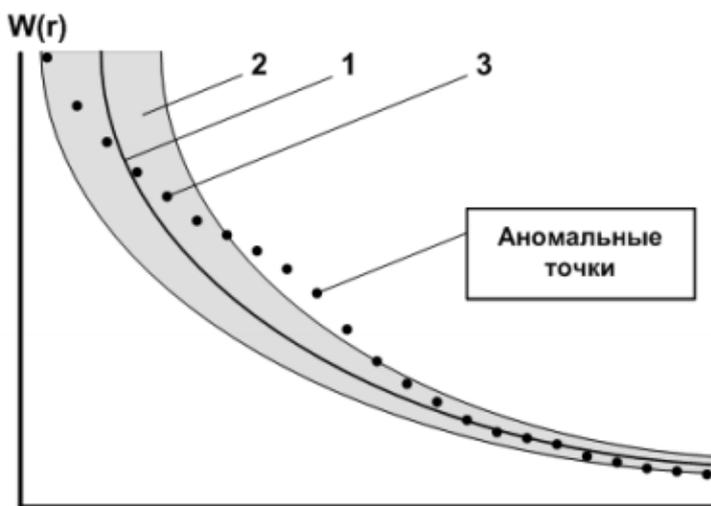


Рис. 3. Интервальное оценивание техноценоза. 1-аппроксимационная кривая; 2-доверительный интервал; 3- эмпирические точки рангового параметрического распределения [4].

Fig.3. Interval assessment of technocenosis. 1-approximation curve; 2-confidence interval; 3- empirical points of rank parametric distribution

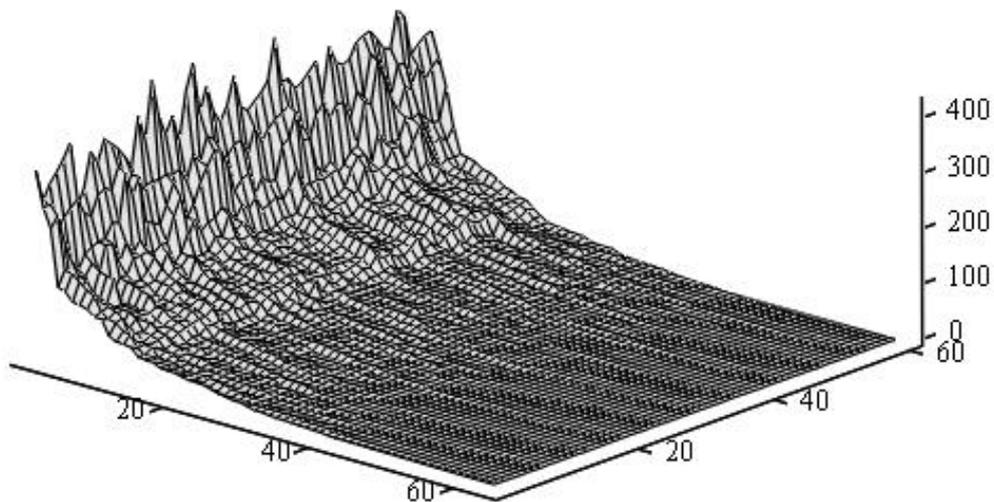


Рис. 4 Трехмерная визуализация данных
Fig.4. 3D data visualization

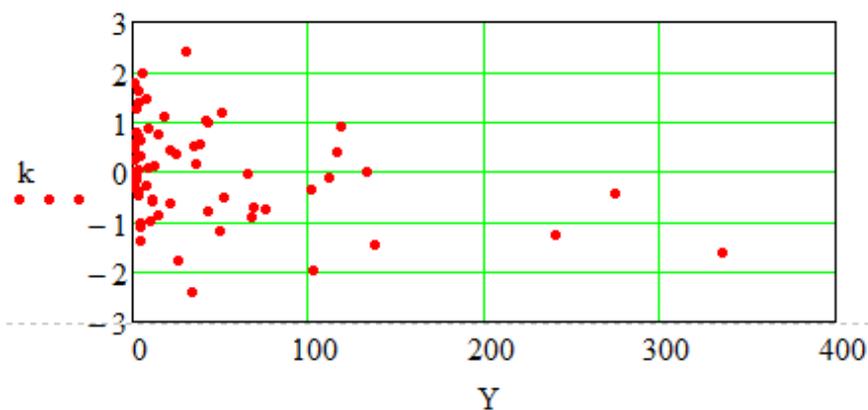


Рис. 5. Проверка гипотезы о несоответствии нормальному закону распределения (по оси абцисс- потребление электроэнергии МВтч, ординат- распределение квантилей)
Fig.5. Testing the hypothesis of non-compliance with the normal distribution law (along the axis, abscissa is the electricity consumption, MWh, ordinate is the distribution of quantiles)

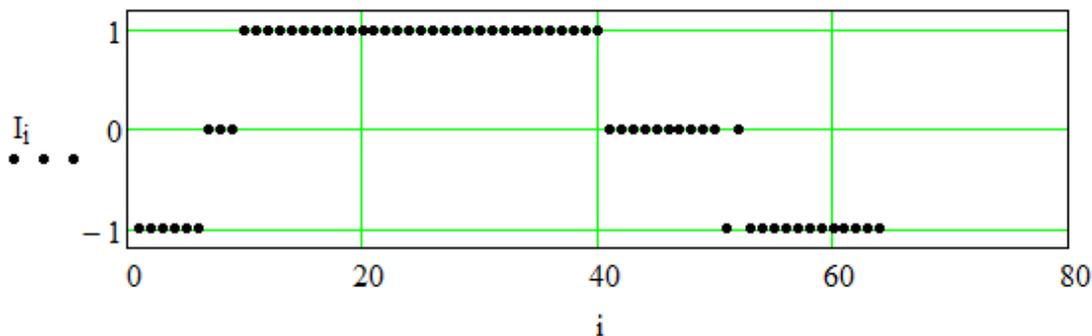


Рис. 6. График, показывающий попадание точек в доверительный интервал
Fig.6. Graph showing points falling into the confidence interval

где u - переменная, характеризующая амплитуду управляющих воздействий, направленных на энергосбережение;

v - переменная, характеризующая степень свободы объектов по принятию решения на энергосбережение;

$p(u, v)$ - функция вероятности реализации значений;

$\rho(u, v)$ - функция полезности.

В свою очередь при отсутствии управляющих воздействий используются значения математического ожидания и среднего квадратичного отклонения параметра, получаемых непосредственно в процедуре нормирования.

При численной реализации преобразующих функций в процессе имитационного моделирования используются среднее и стандарт для исследуемого параметра.

Для исследования техноценозов традиционно принимается двухпараметрическую гиперболическую аппроксимационную форму (12):

$$W(r) = \frac{W_1}{r^\beta} \quad (12)$$

где W_r -ранжированное значение непрерывного параметра;

W_1 - значение параметра, соответствующее первому рангу, то есть максимальное значение;

r -ранг объекта;

β -характеристический коэффициент, который определяет степень крутизны кривой.

Опираясь на закон оптимального построения техноценоза, можно отметить, что техноценоз будет находиться в оптимальном состоянии и считаться идеальным при значении $\beta = 1$. Но такое значение невозможно достичь, так как такой техноценоз должен быть полностью изолированным, что не может быть реализовано на практике. На рисунке два наглядно представлена кривая при коэффициенте $\beta = 1$, а также пример реального Н-распределения.

4. Применение методики

В данной работе техноценоз Прокопьевского района Кемеровской области будет рассмотрен по параметру электропотребления. Необходимо отметить, что при анализе техноценоза, город Прокопьевск не учитывается, так как он входит в более крупный техноценоз, который в свою очередь состоит из областных центров, поэтому причислять его к остальным МО было бы некорректно. Было рассмотрено электропотребление 52 поселка в период с 2014 по 2018 год.

В результате визуализации данных была получена трехмерная модель (рис. 4).

Чтобы подтвердить, что данную систему можно рассматривать как техноценоз, должно соблюдаться условие 13.

$$0,5 \leq K \leq 1 \quad (13)$$

Полученный коэффициент равен 0,913, исходя из этого, можно сделать вывод о том, что данный коэффициент значим, то есть техноценоз по параметру потребления электроэнергии можно считать взаимосвязанным.

Это позволяет использовать исходную базу данных для процедур интервального оценивания и нормирования.

Чтобы подтвердить первую гипотезу, о том, что данные не подчиняются нормальному закону

распределения, необходимо осуществить проверку методом спрямленных диаграмм. В основе данного метода лежит определение квантилей и визуализация их распределения (рис. 5).

Так как точки на графике не лежат вблизи одной прямой, можно сделать вывод о том, что объекты не подчиняются нормальному закону распределения. Для подтверждения второй гипотезы, о том, что данные представляют собой значимо взаимосвязанную структуру, необходимо осуществить проверку связанных данных с помощью коэффициента конкордации ранговых параметрических распределений.

По результатам расчета $\chi^2 = 14,067, \chi^2_r = 4,287 \cdot 10^4$, что подтверждает вышеизложенное условие и значимость коэффициента конкордации для данного техноценоза.

Заключительным этапом работы является интервальное оценивание техноценоза, в котором рассчитываются границы доверительного интервала. После чего определяется количество «аномальных» точек, выходящих за границы доверительного интервала (рис. 6).

Большинство точек выходит за границы доверительного интервала, что предполагает собой проведение энергетического анализа в данных точках. Первыми пятью точками, которые стоит взять во внимание являются поселки: Маяковка, Котино, Смышляево, Кольчегиз и Кыргай.

Выводы

1. Муниципальные образования Кемеровской области могут рассматриваться как техноценоз по параметру потребления электроэнергии, так как две основные гипотезы Н-распределения подтверждены;

2. По результатам интервального оценивания можно сделать вывод о том, что электропотребление большинства МО Прокопьевского района выходит за границы доверительного интервала и существуют «аномальные» точки, на которые необходимо обратить особое внимание при оптимизации системы электроснабжения региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сайт Министерства энергетики РФ <https://minenergo.gov.ru>
2. Федеральный закон «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» №261-ФЗ от 23.11.2009
3. Кудрин, Б.И. Введение в технику [Текст]/ Б.И. Кудрин. -2-е изд.-Томск: Изд-во ТГУ, 1993, - 552 с.
4. Гнатюк В.И., Закон оптимального построения техноценозов [Электронный ресурс]: Монография / В.И. Гнатюк. – 3-е издание, перераб. и доп. – Калининград: Изд-во КИЦ «Техноценоз», 2019. – 896 с. Режим доступа: <http://gnatukvi.narod.ru/ind/>.— .Загл. с экрана

5. Фуфаев В.В. Основы теории динамики структуры техноценозов [Текст]//Математическое описание ценозов и закономерности технетики. Ценологические исследования. Вып. 1. Абакан: Центр системных исследований, 1996 .

6. Паскарь И.Н. Техноценологический подход к анализу электропотребления Кемеровской области / И.Н. Паскарь, Г.М. Лебедев, С.А. Захаров // Вестник КузГТУ. - 2017. - №1. - С. 75-82. URL: <http://vestnik.kuzstu.ru/index.php?page=articles&id=3196> (дата обращения: 10.11.2018)

7. Фролова М.В. Интервальное оценивание техноценоза Кемеровской области по параметру потребления электроэнергии [Текст]//матер. Всерос. науч.-практ. конф. (Казань, 20–21 марта 2019 г.) / редкол.: Э.Ю. Абдуллазянов (гл. редактор) и др. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2019. – 524 с.

8. Информационный портал Bloomberg [Электронный ресурс]/ Режим доступа:<https://www.bloomberg.com/impact/impact/bloomberg-new-energy-finance/>.—Загл. с экрана

9. Капицкая А.В. Проблема реализации мероприятий по перспективному развитию кузбасской энергосистемы в рамках действующего законодательства Российской Федерации и других нормативных актов / А.В. Капицкая, И.Н. Паскарь // Экономика и управление инновациями. - 2017. - №1. - С. 39-44.

10. Паскарь Иван Николаевич, Лебедев Геннадий Михайлович, Захаров Сергей Александрович, Иволга Анна Викторовна Анализ состояния Кузбасской энергосистемы // Вестник КузГТУ. 2016. №5 (116). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-sostoyaniya-kuzbasskoj-energosisitemy> (дата обращения: 09.05.2020).

11. Н. В. Puttgen. Distributed generation: Semantic hype or the dawn of a new era? / Н. Puttgen, P. Macgregor.[Текст]/ N.Y.: IEEE Power Energy Mag,2017.- P.318

12. World Energy Outlook [Электронный ресурс]/ Режим доступа: <https://www.iea.org/>.—Загл. с экрана

Ivan N. Paskar, Senior Lecture, **Marija V. Frolova**, Undergraduate

T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyaya St., Kemerovo, 650000, Russian Federation

INTERVAL ASSESSMENT OF TECHNOCENOSIS BY THE ELECTRIC POWER CONSUMPTION PARAMETER ON THE EXAMPLE OF PROKOPIEVSKY DISTRICT OF KUZBASS

Abstract: In this article, the municipal district of the Kemerovo region is considered as a technocenosis. Prerequisites for the introduction of distributed generation facilities are highlighted. For economically and technically sound introduction of electric power sources, the technocenological approach developed by B.I. Kudrin. Procedures for verifying and visualizing the technocenosis were carried out, as well as “abnormal” objects (settlements) were identified, which are subject to special study in optimizing the power supply system.

Keywords: technocenos, rank analysis, electropuration, interval estimation, H-distribution, optimization of electricity system

Article info: received October 12, 2020
DOI: 10.26730/1816-4528-2020-5-64-70

REFERENCES

1. Sayt Ministerstva energetiki RF <https://minenergo.gov.ru>

2. Federal'nyy zakon «Ob energosberezhenii i povyshenie energeticheskoy effektivnosti i o vnesenii izmeneniy v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossiyskoy Federatsii» №261-FZ ot 23.11.2009

3. Kudrin, B.I. Vvedenie v tekhniku [Текст]/ B.I. Kudrin. -2-e izd.-Tomsk: Izd-vo TGU, 1993, -552 s.

4. Gnatyuk V.I., Zakon optimal'nogo postroeniya tekhnotsenozov [Elektronnyy resurs]: Monografiya / V.I. Gnatyuk. – 3-e izdanie, pererab. i dop. – Kaliningrad: Izd-vo KITs «Tekhnotsenoz», 2019. – 896 s. Rezhim dostupa: <http://gnatukvi.narod.ru/ind/>.—Zagl. s ekrana

5. Fufaev V.V. Osnovy teorii dinamiki struktury tekhnotsenozov [Текст]//Математическое описание ценозов и закономерности технетики. Теннологические исследования. Вып. 1. Абакан: Тсентр системных исследований, 1996 .

6. Paskar' I.N. Tekhnotsenologicheskij podkhod k analizu elektropotrebleniya Remerovskoy oblasti / I.N. Paskar', G.M. Lebedev, S.A. Zakharov // Vestnik KuzGTU. - 2017. - №1. - С. 75-82. URL: <http://vestnik.kuzstu.ru/index.php?page=articles&id=3196> (data obrashcheniya: 10.11.2018)

7. Frolova M.V. Interval'noe otsenivanie tekhnotsenozov kemerovskoy oblasti po parametru potrebleniya elektroenergii [Текст]//матер. Всерос. науч.-практ. конф. (Казань, 20–21 марта 2019 г.) / редкол.:

E.Yu. Abdullazyanov (gl. redaktor) i dr. – Kazan': Kazan. gos. energ. un-t, 2019. – 524 s.

8. Informatsionnyy portal Bloomberg [Elektronnyy resurs]/ Rezhim dostupa: <https://www.bloomberg.com/impact/impact/bloomberg-new-energy-finance/>.—Zagl. s ekrana

9. Kapitskaya A.V. Problema realizatsii meropriyatiy po perspektivnomu razvitiyu kuzbasskoy energosistemy v ramkakh deystvuyushchego zakonodatel'stva Rossiyskoy Federatsii i drugikh normativnykh aktov / A.V. Kapitskaya, I.N. Paskar' // *Ekonomika i upravlenie innovatsiyami*. - 2017. - №1. - С. 39-44.

10. Paskar' Ivan Nikolaevich, Lebedev Gennadiy Mikhaylovich, Zakharov Sergey Aleksandrovich, Ivolga Anna Viktorovna Analiz sostoyaniya Kuzbasskoy energosistemy // *Vestnik KuzGTU*. 2016. №5 (116). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-sostoyaniya-kuzbasskoy-energosistemy> (data obrashcheniya: 09.05.2020).

11. H. B. Puttgen. Distributed generation: Semantic hype or the dawn of a new era? / H. Puttgen, P. Macgregor. [Tekst] / N.Y.: IEEE Power Energy Mag, 2017. - P.318

12. World Energy Outlook [Elektronnyy resurs]/ Rezhim dostupa: <https://www.iea.org/>.—Zagl. s ekrana

Библиографическое описание статьи

Паскаръ И.Н., Фролова М.В. Интервальное оценивание техноценоза по параметру потребления электроэнергии на примере Прокопьевского района Кузбасса // *Горное оборудование и электромеханика* – 2020. – № 5 (151). – С. 64-70.

Reference to article

Paskar I.N., Frolova M.V. Interval assessment of technocenosis by the electric power consumption parameter on the example of Prokopievsky district of Kuzbass. *Mining Equipment and Electromechanics*, 2020, no.5 (151), pp. 64-70.