

## Научная статья

УДК 621.316

DOI: 10.26730/1816-4528-2023-5-22-30

Завьялов Никита Витальевич, Паскарь Иван Николаевич, Лебедев Геннадий Михайлович

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

\*E-mail: z79000554445@gmail.com

**ПРИМЕНЕНИЕ ЦИПФОВОГО (Z-) МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРИ НОРМИРОВАНИИ ТЕХНОЦЕНОЗА РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ****Информация о статье**

Поступила:

29 сентября 2023 г.

Одобрена после

рецензирования:

30 ноября 2023 г.

Принята к печати:

01 декабря 2023 г.

Опубликована:

19 декабря 2023 г.

**Ключевые слова:**

техноценоз; энергосистема; оптимизация; энергоэффективность; математический анализ; прогнозирование

**Аннотация.**

В данной статье реализован и применен на практике техноценологический подход к исследованию существующей энергетической системы и сопутствующий ему цифровой (Z-) метод прогнозирования с целью нахождения слабых мест и оценки внедрения оптимизационных воздействий, направленных на повышение надежности электроснабжения, снижение эксплуатационных издержек и рост экономических показателей. В статье подробно описан математический алгоритм для реализации исследования, собраны и исследованы статистические данные функционирующей Кузбасской энергосистемы и произведен прогноз поведения электрических параметров на перспективный период. Полученные в ходе исследования данные будут являться основой для дальнейших исследований функционирующей энергосистемы крупнейшего угледобывающего региона Российской Федерации. В ходе исследования отмечено, что ввиду растущих производств на территории субъекта РФ дефицит электроэнергии в энергосистеме будет расти. Одной из перспективных отраслей экономики на территории выделена транспортная отрасль, обладающая наиболее выраженными показателями и имеющая связь с добывающей отраслью. Исследование проведено с опорой на статистические данные от Системного Оператора Единой Энергетической Системы (далее – СО ЕЭС), данные Федеральной Службы Государственной статистики, а также на официально опубликованные актуальные документы Правительства РФ, схемы и программу перспективного развития электроэнергетики (далее – СИПРЭ) Кемеровской области - Кузбасса.

**Для цитирования:** Завьялов Н.В., Паскарь И.Н., Лебедев Г.М. Применение цифрового (Z-) метода прогнозирования при нормировании техноценоза региональной энергосистемы // Горное оборудование и электромеханика. 2023. № 5 (169). С. 22-30. DOI: 10.26730/1816-4528-2023-5-22-30, EDN: GNOBDZ

**Введение**

Кемеровская область – Кузбасс с момента образования всегда занимала лидирующие позиции во многих отраслях российской экономики, среди которых особенно выделяются металлургия и угольная промышленность [1-4]. Кузбасские добывающие предприятия ежегодно показывают высокие показатели по добыче каменного угля – без малого 60% всего объема добываемого сырья отгружается именно из Кемеровской области. По данным Росстата, на 2021 год погрузка кузбасского угля на нужды российских потребителей выросла на 5,3%. Данный показатель, ориентируясь на рынок сбыта, определяет цифру в 20 млн тонн. Показатель роста по статистике текущего года имеет отличительную особенность – отгрузка в восточном направлении

выросла более, чем на 1 млн тонн (в 1,5 раза по сравнению с прошлым годом).

География крупнейших технологических объектов региона в большинстве своем концентрируется на центральной части региона. Среди основных промышленных центров можно выделить Новокузнецк, Березовский, Прокопьевск, Междуреченск и Киселевск – в сумме перечисленные угольные центры занимают около трети от всего объема промышленных производств на территории Кузбасса.

Наряду с растущими темпами добычи полезных ископаемых и других производств правительство региона ведет активную политику в области развития энергетики путем повышения энергетической эффективности электросетевого комплекса, снижения негативного влияния объектов генерации, по-

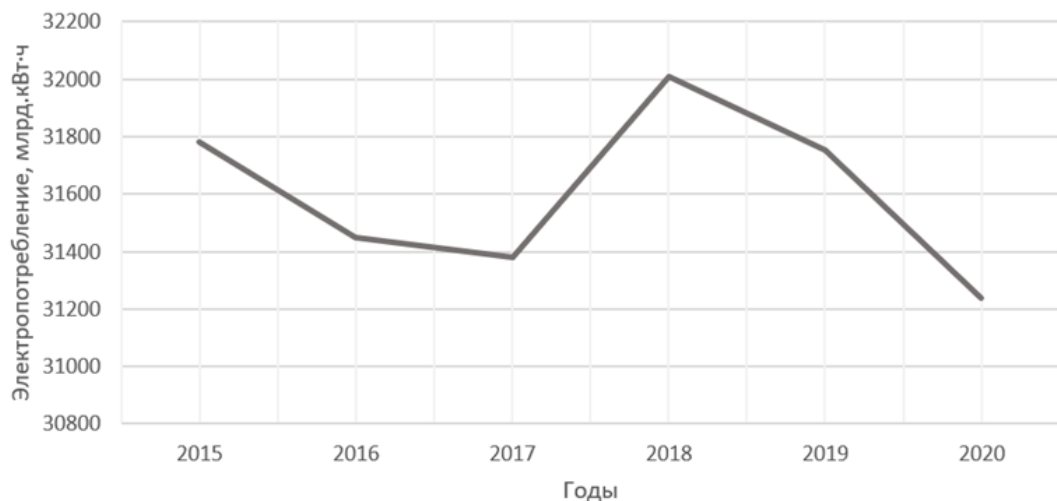


Рис. 1. График годового электропотребления Кемеровской области – Кузбасса  
 Fig. 1. Schedule of annual electricity consumption of the Kemerovo region – Kuzbass

Таблица 1. Потребление электроэнергии Кемеровской области – Кузбасса в млн кВт·ч.  
 Table 1. Electricity consumption of the Kemerovo region – Kuzbass in million kWh.

Наименование показателя	Годы					
	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Электропотребление, млн кВт·ч	31780	31447	31378	32009	31755	31293
Темпы прироста, %	-1,07	-1,05	-0,22	+2,01	-0,79	-1,45

вышения надежности всех составляющих энерго-снабжающей отрасли.

Электроэнергия в достаточно больших объемах потребляется на предприятиях любого из секторов экономики – этот факт позволяет заметить обоснованность различных региональных и федеральных программ, направленных на энергосбережение и повышение энергетической эффективности. За счет технического перевооружения предприятий, разнообразных льготных и штрафных структурных мероприятий возможно снизить потребление электрической энергии в регионе вплоть до 30%.

Анализ общего графика потребления электрической энергии в Кемеровской области (Рис. 1, Таблица 1) в период с 2016 года указывает на небольшое, но стабильное снижение объемов потребления – это все необходимо проецировать на растущие объемы производств, только так формируется полная картина развития ситуации. Явление роста потребления электроэнергии в 2018 году (примерно 2,01%), обусловленная скачком в производстве алюминия и повышением уровня добычи угля, в данном исследовании анализу не подвергается и относится к «аномальному» явлению, свойственному любому набору статистических величин [1, 5].

Для формирования дальнейших перспектив развития энергетики промышленного региона будет рационально рассматривать объекты промышленности раздельно, но при этом не отступая от их непосредственных связей – данный подход в исследовании определен как техноценологический. Математический метод, применяемый в исследовании, разработан профессором МЭИ Борисом Ивановичем Кудриным, методика исследования на основе программного аппарата разработана и описана

Виктором Ивановичем Гнатюком [6-8]. Основа анализа – организация статистических данных с помощью рангового распределения по исследуемому параметру (потребление электрической энергии).

Целью проведения исследования техноценоза в части прогнозирования параметров исследуемой региональной энергосистемы Z-методом является повышение энергетической эффективности функционирующей региональной энергетической системы путем обоснованного внедрения оптимизационных мероприятий, направленных на снижение потерь электрической энергии, повышение надежности энергосистемы и экономии финансовых средств, затраченных на оплату электрической энергии.

Для наиболее наглядного представления динамики годового потребления отраслями экономики статистические данные сведены в Таблицу 2.

#### Описание методики

При исследовании элементов функционирующей энергосистемы как объектов техноценоза с целью наиболее точного и результативного проведения процесса оптимизации необходимо выполнять прогнозирование потребления энергоресурсов на перспективный период, который, как правило, составляет от 4 до 7 лет. Полученные цифры в том или ином объеме позволят сформировать тренд развития региональной энергосистемы и наметить перечень оптимизационных воздействий. Достаточно высокие результаты прогнозирования достигаются с использованием результатов рангового анализа, выполненного в процессе интервального оценивания. Спрогнозированные на перспективный период величины электропотребления согласно теории математического анализа имеют погреш-

Таблица 2. Потребление электроэнергии отраслями экономики Кемеровской области – Кузбасса в млн кВт·ч.

Table 2. Electricity consumption by sectors of the economy of the Kemerovo region – Kuzbass in million kWh.

Годы	Добыча полезных ископаемых, обрабатывающие производства, производство и распределение электроэнергии, газа и воды	Сельское хозяйство	Строительство	Транспорт и связь	Другие виды экономической деятельности	Население	Потери в электрических сетях
2012	28907,1	228,2	197,9	1875,1	1391,5	3047,7	1816
2013	27097,8	209,7	193,6	1904,5	1303,8	3104,2	1796,6
2014	26479,1	221,6	200,6	2035	1527,5	3111,1	1786,1
2015	25629	208,6	129,2	1708,8	1036,7	3046,8	1767,9
2016	24959,6	204,1	159,3	1994,3	1469,2	3704,4	1815,2
2017	24812	274,3	128,5	2224,2	1662,1	3603,8	1743,6
2018	24719,6	284,0	117,8	2310,8	1662,3	3699,6	1763,1
2019	24408,4	278,2	116,8	2585,2	1692,1	3612,5	1639,0
2020	24323,9	475,7	111,4	3380,5	1506	3558,3	1552,1
2021	24303,1	333,4	129,4	3280	1691,4	3781,4	1601,1



Рис. 2. Алгоритм проводимого исследования

Fig. 2. Algorithm of the conducted research

ность порядка 4–10%, в отдельных случаях (при большой выборке данных и др.) погрешность прогноза техноценоза в целом может составлять 1,5–2% [9–11].

Методика техноценологического прогнозирования потребления электроэнергии основана на теории структурно-топологической устойчивости ранговых параметрических распределений, при этом параллельно рассмотрению подлежат особи, относящиеся к новым, пойнтер- и саранчовым кастам. Данный подход к прогнозированию является одним из самых точных и в теории стохастического моделирования определяется как статистическая модель

с делением на кастовые зоны. Основой для выполнения процесса прогнозирования служат полученные ранее данные по ранговому анализу существующего на территории Кемеровской области техноценоза – база данных (статистика) и результаты интервального оценивания.

Z-методы прогнозирования поведения техноценоза позволяют учесть влияние системных свойств на процесс электропотребления отдельных объектов, основываясь на теории структурно-топологической устойчивости ранговых параметрических распределений. В ранговом параметрическом распределении каждой точке соответствует не

вид, а особь. Первый ранг присваивается особи, имеющей наибольшее значение параметра, второй – имеющей наибольшее значение среди особей, кроме первой, и т. д. При этом в данной программе отдельно рассматриваются процедуры прогнозирования объектов, относящихся к новым, пойнтер- и саранчовым кастам рангового параметрического распределения.

Алгоритм работы при выполнении исследования включает в себя несколько аналитических этапов, а также ключевые этапы, основанные на создании модели исследуемого техноценоза. Обобщенная модель выполняемого алгоритма представлена на Рис. 2.

#### Математическое описание

На начальном этапе исследования необходимо провести интервальное оценивание, которое позволяет определить объекты, отклоняющиеся от нормального распределения и представляющие собой объекты с аномальным использованием ресурсов. По факту выявления таких особей в отношении них выполняется прогнозирование с целью исследования тренда развития аномальных значений [12].

за на последний известный год от расчетного проверочного значения за этот год [13-16]. Решение задачи по поиску минимума наиболее правильно осуществлять методом наименьших квадратов ввиду того, что статистический полином может иметь квадратичную степень.

$$\sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2 \rightarrow \min \quad (2)$$

Решения задачи поиска минимума определяются выражениями 3 и 4:

$$\hat{b} = \frac{\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})(y_k - \bar{y})}{\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2} \quad (3)$$

$$\hat{a} = \bar{y} - \hat{b}\bar{x} \quad (4)$$

Результаты проведенной процедуры рангового прогнозирования Z-методом представлены в Таблице 3.

#### Анализ полученных результатов и выводы

Анализируя статистические данные (потребление различных отраслей экономики на территории Кемеровской области), выделено несколько особей, для которых приоритетно и обосновано проведение оптимизационных мероприятий, в том числе и строительство новых генерирующих мощностей. Ввиду использования в исследовании нескольких

Таблица 3. Результаты прогнозирования (Z-методом) потребления электроэнергии отраслями экономики на территории Кемеровской области – Кузбасса  
Table 3. The results of forecasting (by the Z-method) electricity consumption by economic sectors in the territory of the Kemerovo region – Kuzbass

Отрасль экономики	Прогноз потребления, млн кВт·ч				
	2022	2023	2024	2025	2026
1	3	4	5	6	7
Транспорт и связь	2499,9	2560,3	2572,6	2652	2584,5
Потери в электросетях общего пользования	1683,7	1646,6	1606,8	1584,9	1555,3
Потребление населением - всего	3587,2	3591,8	3521,0	3606,6	3590,6
Прочие виды экономической деятельности	1736,4	1699,1	1717,9	1736,6	1780,0
Строительство	558,6	527,6	498,7	478,8	475,6
Добыча полезных ископаемых, обрабатывающие производства, производство и распределение электроэнергии, газа и воды	27526,4	28082	28239,5	28883,6	28162,4
Сельское хозяйство, охота, лесное хозяйство	308,6	286,1	277,7	280,0	286,9

Статистические данные для исследования техноценоза описываются выражением

$$W(r) = \frac{W_1}{r^\beta}, \quad (1)$$

где  $W_r$  – ранжированное значение непрерывного параметра;  $W_1$  – значение параметра, соответствующее первому рангу (максимальное значение);  $r$  – ранг объекта;  $\beta$  – характеристический коэффициент, определяющий степень крутизны кривой.

Прогнозирование электропотребления особями техноценоза, относящимся к той или иной касте, осуществляется с помощью полинома, который может быть прямой или квадратичной параболой. Критерием оптимальности степени полинома является минимум квадратического отклонения прогно-

временных промежутков, характеризующих статистические данные, мы получаем трехмерный массив рангового распределения по параметру электропотребления отраслями промышленности на территории Кемеровской области – Кузбасса (Рис. 3), где ось абсцисс – ранг объекта, ось ординат – номер года исследования, ось аппликата – электропотребление отраслей экономики, млн кВт·ч.

В сформированном массиве данных определяются границы новой, пойнтер- и саранчовой кастовых зон рангового параметрического распределения, при этом используется критерий равного распределения ресурсов между вычисленными зонами. Результат деления рангового распределения

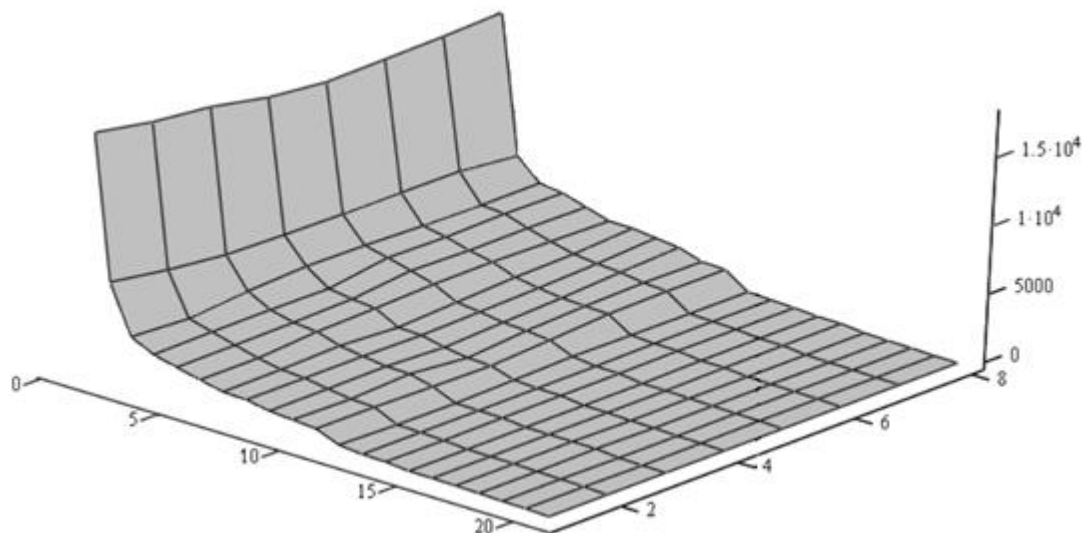


Рис. 3 Трехмерная ранговая поверхность исследуемого техноценоза  
 Fig. 3. Three-dimensional rank surface of the studied technocenosis

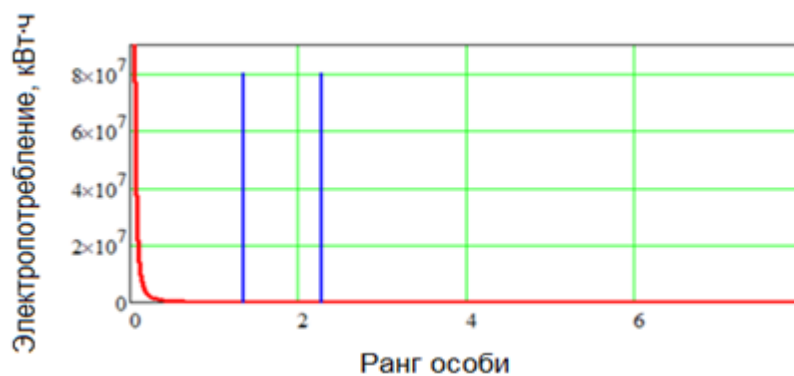


Рис. 4 Деление рангового распределения техноценоза на кастовые зоны: вертикальные линии – кастовые границы  
 Fig. 4. Division of the rank distribution of technocenosis into caste zones: vertical lines – caste boundaries

Таблица 4. Результат рангового анализа отраслей экономики Кемеровской области – Кузбасса  
 Table 4. The result of a rank analysis of the sectors of the economy of the Kemerovo region – Kuzbass

Отрасль экономики	Направление и величина отклонения, млн кВт·ч
Обрабатывающие производства	+320
Потери в электрических сетях общего пользования	+640
Деятельность железнодорожного транспорта	+630
Электротяга на железнодорожном транспорте	+640
Прочие виды экономической деятельности	+590
Добыча полезных ископаемых	+30
Строительство	-66

техноценоза на кастовые зоны представлен на Рис. 4.

Стоит отметить, что каста – это группа видов (класс), где каждый вид представляется равным

количеством особей. Ноева каста характерна тем, что каждый вид представлен одной особью, выделяющейся каким-либо доминирующим признаком – в исследовании ноева каста представлена добыва-

ющей отраслью промышленности. Саранчовая каста является самой мощной в техноценозе, она образована из видов наибольшей численности (мощности) – в проводимом исследовании данная каста образована предприятиями транспорта и прочими видами экономической деятельности. Пойнтер касты содержит в себе все остальные отрасли экономики и занимает среднее положение между двух перечисленных, т. е. является уравновешенной.

Процедура рангового анализа и сопутствующее ей прогнозирование Z-методом позволило выделить отрасли и предприятия, для которых далее предлагается внедрение объектов распределенной генерации – добыча полезных ископаемых, обрабатывающие производства и железнодорожный транспорт, подробный результат проведенной процедуры рангового распределения указан в Таблице 4.

По результатам, полученным в ходе исследования, стоит отметить транспортную отрасль экономики – именно она в большей степени сопутствует двум лидирующим представителям ноевой касты. График, отображающий тренд роста потребления электроэнергии транспортной отраслью промышленности, представлен на Рис. 5.

Результаты прогнозирования могут являться рациональным обоснованием к внедрению оптимизационных мероприятий выделенной отрасли, поводом для привлечения инвестиций в развитие тех или иных направлений – в том числе и строительство объектов распределенной генерации, не исключая перспективы применения возобновляемых источников электроэнергии [17-18]. Касательно рассматриваемой транспортной и добывающей отраслей к внедрению предлагается строительство нескольких мини-ТЭС с установленной электрической мощностью 32 МВт. В качестве топлива принимается Кузнецкий уголь марки «ДГ» с тепло-

творной способностью 4000 ккал/кг. Размещение мини-ТЭС предусматривается в непосредственной близости от потребителей электроэнергии – тяговых подстанций. Данные мероприятия позволят вывести оптимизируемую особь техноценоза из области «аномальных» значений, тем самым закрепив ее устойчивое положение на кривой рангового распределения – это, в свою очередь, говорит о стабильном состоянии электрических параметров.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Распоряжение Губернатора Кемеровской области – Кузбасса «Об утверждении схемы и программы перспективного развития электроэнергетики Кемеровской области – Кузбасса на 2021-2025 годы» от 30.04.2020 № 58-рг // Официальный сайт Администрации Правительства Кузбасса. 2020.
2. Региональное диспетчерское управление энергосистем Кемеровской и Томской областей. Официальный сайт СО ЕЭС [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.so-ups.ru/?id=201> (дата обращения: 05.07.2022)
3. Закон Кемеровской области «О внесении изменений в Закон Кемеровской области «Об утверждении Стратегии социально-экономического развития Кемеровской области до 2035 года» от 23.12.2020 № 123-ОЗ // Официальный сайт Администрации Правительства Кузбасса. 2020.
4. Приказ Министерства Энергетики Российской Федерации «Об утверждении схемы и программы развития Единой энергетической системы России на 2020–2026 годы» от 30.06.2020 № 508 // Официальный сайт Министерства Энергетики Российской Федерации. 2020.
5. «Сведения о производстве и распределении электрической энергии» № 23-Н // Единая межведомственная информационно-статистическая си-

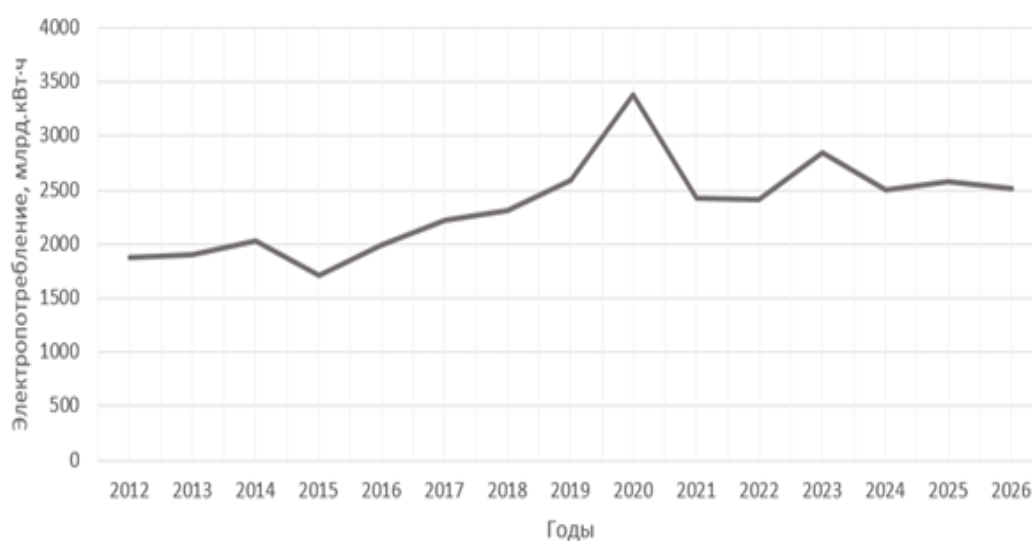


Рис. 5. График годового электропотребления транспортной отрасли промышленности Кемеровской области – Кузбасса: в период 2012-2021 годы – фактические значения, после 2022 года – прогнозируемые  
 Fig. 5. Schedule of annual power consumption by the transport industry of the Kemerovo region – Kuzbass: in the period 2012-2021 – actual values, after 2022 – predicted

стема (ЕМИСС) [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.fedstat.ru/indicator/43277> (дата обращения: 06.07.2022)

6. Гнатюк В. И. Закон оптимального построения техноценозов [Электронный ресурс]: Монография. 3-е издание, перераб. и доп. Калининград : Изд-во КИЦ «Техноценоз», 2019. 896 с. Режим доступа: <http://gnatukvi.narod.ru/ind/>.

7. Паскарь И. Н., Лебедев Г. М., Захаров С. А. Техноценологический подход к анализу электропотребления Кемеровской области // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2017. №1. С. 75–82.

8. Кудрин Б. И. Введение в технику [Текст] 2-е изд. Томск : Изд-во ТГУ, 1993. 552 с.

9. Субботин Д. Е., Ахмеров А. В. Мероприятия по повышению энергетической эффективности на предприятии // Поволжский научный вестник. 2019. № 2. С. 23–30.

10. Аксенова А. А. Сравнение методов оптимизации для развития энергосистемы // Сборник материалов XIV Всероссийской, научно-практической конференции молодых ученых с международным участием. Сборник материалов XIV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 19–22 апр. 2022 г., Кемерово [Электронный ресурс] / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева»; редкол.: К. С. Костиков (отв. ред.) [и др.]. Кемерово, 2022.

11. Наумов И. И., Моторин Д. Е., Кочубей А. Л., Кудрявцев И. А. Повышение энергоэффективности и модернизация энергетических систем в России:

Энергоэффективность и энергоменеджмент // Дневник науки. 2021. № 10(58). DOI: 10.51691/2541-8327\_2021\_10\_5.

12. Токменинов К. А., Токменинов А. К. Некоторые мероприятия повышения энергоэффективности в промышленности // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: Материалы международной научно-технической конференции, Могилев, 24–25 апреля 2014 года. Могилев : Государственное учреждение высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет», 2014. С. 412–413.

13. Yang S. [et al.] A multi-objective stochastic optimization model for electricity retailers with energy storage system considering uncertainty and demand response // Journal of Cleaner Production. 2020. Vol. 277. P. 124017.

14. Yang D. [et al.] Optimal dispatching of an energy system with integrated compressed air energy storage and demand response // Energy. 2021. Vol. 234. P. 121232.

15. Xu W. [et al.] Optimal allocation of power supply systems in industrial parks considering multi-energy complementarity demand response // Applied Energy. 2020. Vol. 275. P. 115407.

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

17. Turan Gonen. Distribution Engineering [Текст]. Boca Raton. : CRC Press, 2014.

© 2023 Автор. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

**Завьялов Никита Витальевич**, аспирант, Кузбасский Государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), z79000554445@gmail.com

**Паскарь Иван Николаевич**, старший преподаватель, Кузбасский Государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), paskar-ivan@mail.ru

**Лебедев Геннадий Михайлович**, доктор техн. наук, доцент, Кузбасский Государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), gennadij.lebedev.49@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

**Завьялов Никита Витальевич** – анализ существующей ситуации в функционирующей энергосистеме; реализация математического алгоритма; сбор и анализ данных; аналитические расчеты; выводы; написание текста.

**Паскарь Иван Николаевич** – постановка исследовательской задачи в соавторстве; научный менеджмент; формирование структуры основных задач.

**Лебедев Геннадий Михайлович** – постановка исследовательской задачи в соавторстве; научный менеджмент; формирование структуры основных задач; формулировка выводов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

## APPLICATION OF THE DIGITAL (Z-) FORECASTING METHOD WHEN NORMALIZING THE TECHNOCENOSIS OF THE REGIONAL POWER SYSTEM



### Article info

Received:

29 September 2023

Accepted for publication:

30 November 2023

Accepted:

01 December 2023

Published:

19 December 2023

**Keywords:** technocenosis; power system; optimization; energy efficiency; mathematical analysis; forecasting.

### Abstract.

*In this article, a technocenological approach to the study of the existing energy system and the accompanying Zipfian (Z-) forecasting method are implemented and applied in practice in order to find weak points and evaluate the implementation of optimization impacts aimed at increasing the reliability of power supply, reducing operating costs and increasing economic indicators. The article describes in detail the mathematical algorithm for implementing the study, collected and examined statistical data of the functioning Kuzbass energy system, and made a forecast of the behavior of electrical parameters for the long-term period. The data obtained during the study will form the basis for further research into the functioning energy system of the largest coal-mining region of the Russian Federation. The study noted that due to growing production on the territory of a constituent entity of the Russian Federation, the shortage of electricity in the energy system will grow. One of the promising sectors of the economy in the territory is the transport industry, which has the most pronounced indicators and is connected with the mining industry. The study was conducted based on statistical data from the System Operator of the Unified Energy System (hereinafter referred to as SO UES), data from the Federal State Statistics Service, as well as officially published current documents of the Government of the Russian Federation, schemes and a program for the long-term development of the electric power industry (hereinafter referred to as SI-PRE) of the Kemerovo region - Kuzbass.*

**For citation:** Zavyalov N.V., Paskar I.N., Lebedev G.M. Application of the digital (Z-) forecasting method when normalizing the technocenosis of the regional power system. Mining Equipment and Electromechanics, 2023; 5(169):22-30 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2023-5-22-30, EDN: GNOBDZ

### REFERENCES

1. Rasporiazhenie Gubernatora Kemerovskoi oblasti – Kuzbassa «Ob utverzhdenii skhemy i programmy perspektivnogo razvitiia elektroenergetiki Kemerovskoi oblasti – Kuzbassa na 2021-2025 gody» ot 30.04.2020 № 58-rg. Official website of the Administration of the Government of Kuzbass, 2020. (in Russian)

2. Regionalnoe dispetcherskoe upravlenie energosistem Kemerovskoi i Tomskoi oblasti (Ofitsialnyi sait SO EES) [Regional dispatching management of power systems of Kemerovo and Tomsk regions]. Official website of SO UES. Available at: <https://www.so-ups.ru/?id=201> (accessed: 05.07.2022)

3. Zakon Kemerovskoi oblasti «O vnesenii izmenenii v Zakon Kemerovskoi oblasti «Ob utverzhdenii Strategii sotsialno-ekonomicheskogo razvitiia Kemerovskoi oblasti do 2035 goda» ot 23.12.2020 № 123-OZ [The Law of the Kemerovo region «On amendments to the Law of the Kemerovo region «On approval of the Strategy of socio-economic development of the Keme-

rovo Region until 2035» dated December 23, 2020. No. 123-OZ]. Official website of the Administration of the Government of Kuzbass, 2020. (in Russian)

4. Prikaz Ministerstva Energetiki Rossiiskoi Federatsii «Ob utverzhdenii skhemy i programmy razvitiia Edinoi energeticheskoi sistemy Rossii na 2020–2026 gody» ot 30.06.2020 № 508 [Order of the Ministry of Energy of the Russian Federation «On approval of the scheme and program for the development of the Unified Energy System of Russia for 2020-2026» dated 30.06.2020 No. 508]. Official website of the Ministry of Energy of the Russian Federation, 2020. (in Russian)

5. «Svedeniia o proizvodstve i raspredelenii elektricheskoi energii» № 23-N [«Information on the production and distribution of electric energy» No. 23-N]. Unified interdepartmental Information and Statistical System (EMISS). Available at: <https://www.fedstat.ru/indicator/43277> (accessed: 06.07.2022)



6. Gnatyuk V.I. Zakon optimalnogo postroeniia tekhnosenozov [The law of optimal construction of technocenoses]. Kaliningrad: KITS «Tekhnosenoz»; 2019. 896 p. Available at: <http://gnatukvi.narod.ru/ind>. (in Russian)

7. Paskar I.N., Lebedev G.M., Zakharov S.A. Tekhnosenologicheskii podkhod k analizu elektropotrebleniia kemerovskoi oblasti [Technocenological approach to the analysis of electricity consumption in the Kemerovo region]. *Vestnik Kuzbasskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*. 2017; 1:75–82.

8. Kudrin B.I. Vvedenie v tekhniku [Introduction to technique]. Tomsk: Izd-vo TGU; 1993. 552 p.

9. Subbotin D.E., Akhmerov A.V. Meropriiatiia po povysheniiu energeticheskoi effektivnosti na predpriatii [Measures to improve energy efficiency at the enterprise]. *Povolzhskii nauchnyi vestnik*. 2019; 2:23–30.

10. Aksenova A.A. Sravnenie metodov optimizatsii dlia razvitiia energosistemy [Comparison of optimization methods for the development of the power system]. *Sbornik materialov XIV Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*. Kemerovo, 2022

11. Naumov I.I., Motorin D.E., Kochubey A.L., Kudryavtsev I.A. Povyshenie energoeffektivnosti i modernizatsiia energeticheskikh sistem v Rossii: Energoeffektivnost i energomenedzhment [Increasing energy efficiency and modernization of energy systems in

Russia: Energy efficiency and energy management]. *Dnevnik nauki*. 2021;10(58). DOI: 10.51691/2541-8327\_2021\_10\_5

12. Tokmeninov K.A., Tokmeninov A.K. Nekotorye meropriiatiia povysheniia energoeffektivnosti v promyshlennosti [Some measures to increase energy efficiency in industry]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii*. 24–25 apr. Mogilev: Gosudarstvennoe Uchrezhdenie Vysshego Professionalnogo Obrazovaniia «Belorussko-Rossiiskii universitet»; 2014.

13. Yang S. [et al.] A multi-objective stochastic optimization model for electricity retailers with energy storage system considering uncertainty and demand response. *Journal of Cleaner Production*. 2020; 277:124014.

14. Yang D. [et al.] Optimal dispatching of an energy system with integrated compressed air energy storage and demand response. *Energy*. 2021; 234:121232.

15. Xu W. [et al.] Optimal allocation of power supply systems in industrial parks considering multi-energy complementarity demand response. *Applied Energy*. 2020; 275:115407.

16. Puttgen H.B. Distributed generation: Semantic hype or the dawn of a new era? N.Y.: IEEE Power Energy Mag; 2017.

17. Turan Gonen. Distribution Engineering. Boca Raton.: CRC Press; 2014.

© 2023 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The author declares no conflict of interest.

About the author:

**Nikita V. Zavyalov**, Master's student, Kuzbass State Technical University, (650000, Russia, Kemerovo, Vesennyya, 28), [z79000554445@gmail.com](mailto:z79000554445@gmail.com)

**Ivan N. Paskar**, Scientific Researcher, Kuzbass State Technical University, (650000, Russia, Kemerovo, Vesennyya, 28), [paskar-ivan@mail.ru](mailto:paskar-ivan@mail.ru)

**Gennady M. Lebedev**, Dr.Sc., Associate Professor, Kuzbass State Technical University, (650000, Russia, Kemerovo, Vesennyya, 28), [gennadij.lebedev.49@mail.ru](mailto:gennadij.lebedev.49@mail.ru)

Contribution of the authors:

**Nikita V. Zavyalov** – analysis of the existing situation in the functioning energy system; implementation of a mathematical algorithm; data collection and analysis; analytical calculations; conclusions; writing text.

**Ivan N. Paskar** – formulation of the research problem in co-authorship; scientific management; formation of the structure of the main tasks.

**Gennady M. Lebedev** – formulation of the research problem in co-authorship; scientific management; formation of the structure of the main tasks; formulation of conclusions.

Author have read and approved the final manuscript.

