

pISSN 2073-039X
eISSN 2311-8725

Экономическое развитие

НЕЙРОСЕТЕВОЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РОССИИ В УСЛОВИЯХ БОЛЬШИХ ВЫЗОВОВ

Николай Петрович ЛЮБУШИН ^{a,*},

Елена Николаевна ЛЕТЯГИНА ^b,

Валентина Ивановна ПЕРОВА ^c

^a доктор экономических наук, профессор кафедры экономического анализа и аудита, Воронежский государственный университет (ВГУ), Воронеж, Российская Федерация
lubushinnp@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4493-2278>
SPIN-код: 2227-3764

^b кандидат экономических наук, доцент, заведующая кафедрой управления в спорте, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского (ННГУ), Нижний Новгород, Российская Федерация
len@fks.unn.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6539-6988>
SPIN-код: 7221-4868

^c кандидат физико-математических наук, доцент кафедры математического моделирования экономических процессов, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского (ННГУ), Нижний Новгород, Российская Федерация
perova_vi@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1992-5076>
SPIN-код: 3871-2450

* Ответственный автор

История статьи:

Рег. № 15/2023
Получена 23.01.2023
Получена в доработанном виде 30.01.2023
Одобрена 07.02.2023
Доступна онлайн 28.02.2023

УДК 004.032.26:332.1
JEL: C45, O30, R11

Аннотация

Предмет. Энергоэффективность региональной экономики Российской Федерации и ее влияние на устойчивое развитие страны в условиях больших вызовов.

Цели. Решение многомерной задачи анализа развития энергоэффективности экономики регионов России, которая относится к сложно формализуемым задачам и гармонирует с современными требованиями конкурентоустойчивости, с помощью предложенного перспективного метода – кластеризации данных на основании нейросетевого моделирования. Объектами исследования являлись 85 регионов Российской Федерации, аттестуемых 8 показателями, взятыми с сайта Федеральной службы государственной статистики согласно авторскому подходу. Проведен анализ динамики энерговооруженности труда работников промышленных организаций в разрезе федеральных округов РФ и динамики инновационного развития по виду экономической деятельности «обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха» в Российской Федерации за 2018–2020 гг.

Методология. Методом исследования многомерных статистических

данных выступает кластерный анализ на базе нейронных сетей, являющихся релевантной составляющей искусственного интеллекта. Инструментарий искусственных нейронных сетей – самоорганизующихся карт Кохонена, используемый в авторском исследовании, свободен от модельной ограниченности и внешнего вмешательства при функционировании нейронной сети, а также позволяет в наглядном виде представить на плоскости результаты кластеризации многомерного пространства данных.

Результаты. Результатом кластерного анализа гетерогенных данных является распределение регионов России по восьми кластерным образованиям. При этом проявляется независимость разделения регионов на кластеры – кластерного решения – от их нахождения в составе федеральных округов России. Показано, что рассматриваемые показатели, характеризующие энергоэффективность региональной экономики Российской Федерации, по-разному влияли на создание кластеров. Получена значимая неравномерность распределения регионов России по кластерам: число регионов в кластерах различается более чем в четыре раза. Определен различный уровень энергоэффективности экономики регионов по исследуемым показателям в масштабе кластеров. Это требует применения разных стратегий экономического развития регионов Российской Федерации в фокусе кластерных образований.

Ключевые слова:

энергоэффективность, энергетическая политика, большие вызовы, кластерный анализ, нейронные сети

Выводы. Показано влияние больших вызовов на развитие энергоэффективности экономики России. Полученные результаты свидетельствуют, что в целях исполнения задач по дальнейшему повышению устойчивого поступательного развития экономики Российской Федерации необходимы инновационные организационно-управленческие методы, которые генерируют вектор направленности на эффективное решение актуальных задач, стоящих перед страной.

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2023

Для цитирования: Любушин Н.П., Летягина Е.Н., Перова В.И. Нейросетевой анализ энергоэффективности региональной экономики как фактор устойчивого развития России в условиях больших вызовов // *Экономический анализ: теория и практика*. – 2023. – Т. 22, № 2. – С. 206 – 234.

<https://doi.org/10.24891/ea.22.2.206>

К приоритетам государственной политики Российской Федерации относится опережение мировых тенденций научно-технологического развития с учетом больших вызовов, что показано в ряде работ (см. например, работы [1, 2]). В Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации¹ названы семь больших вызовов, в том числе рост значимости энерговооруженности. Вызвано это тем, что энергоемкость отечественного производства по сравнению с другими странами мира весьма велика и по данному показателю мы не входим даже в первую сотню стран. В число приоритетов и перспектив научно-технологического развития отнесен переход к ресурсосберегающей энергетике, оказывающей существенное влияние на энергоэффективность, которая в значительной мере характеризует состояние большинства видов экономической деятельности и качество жизни населения.

¹ О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации: Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 № 642.

Энергоэффективность экономики включена в повестку дня энергетической политики многих стран. Повышение энергоэффективности является ключевым фактором экономического развития государства, что исследовано в работах [3–6]. Общий потенциал энергоэффективности высок, но остается не до конца реализованным, что показано в работах [7, 8]. По оценкам Института энергетических исследований РАН, суммарные экономически обоснованные объемы экономии электроэнергии могут составить в 2030 г. свыше 180 млрд кВт·ч [9].

Проблемы и барьеры в повышении энергоэффективности зависят от многих факторов, в том числе от географического положения и регионального развития. Энергоэффективность регионов, которая является одним из столпов Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года², предполагает высокоэффективный путь повышения экономической конкурентоспособности и устойчивости экономики субъектов Федерации, уменьшения энергетической зависимости и повышения надежности энергоснабжения, а также создания рабочих мест. Этому подходу посвящены работы [10, 11].

При проведении кластеризации на основе нейросетевого моделирования развития энергоэффективности экономики Российской Федерации были проанализированы данные по 85 регионам России за 2020 г., представленные в соответствии с методологией статистического учета на сайте Федеральной службы государственной статистики:

показатели, аттестующие выработку, производство, передачу и распределение электроэнергии:

- X1 – мощность электростанций, млн кВт;
- X2 – производство электроэнергии, млрд кВт·ч;
- X3 – структура объема отгруженной продукции (работ, услуг) по виду экономической деятельности «обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха»: производство, передача и распределение электроэнергии, %;

показатели, аттестующие состояние рентабельности функционирования организаций:

- X4 – рентабельность активов организаций по обеспечению электрической энергией, газом и паром; кондиционированию воздуха, %;

² Об Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 № 1523-р.

- X5 – рентабельность проданных товаров, продукции (работ, услуг) организаций по обеспечению электрической энергией, газом и паром; кондиционированию воздуха, %;

показатели, аттестующие состояние энергоэффективности в производственной сфере:

- X6 – энергоемкость ВРП, кг условного топлива на 10 тыс. руб.;
- X7 – энерговооруженность труда работников в промышленном производстве по виду экономической деятельности «обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха», кВт·ч;
- X8 – число высокопроизводительных рабочих мест по виду экономической деятельности «обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха», тыс. ед.;

показатели, аттестующие состояние основных фондов:

- X9 – степень износа основных фондов по виду экономической деятельности «обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха», %;
- X10 – структура ввода в действие основных фондов по виду экономической деятельности «обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха», % от общего объема основных фондов, введенных в действие в 2020 г.

Совокупность приведенных показателей позволяет интегративно оценить энергоэффективность экономики регионов Российской Федерации в ракурсе электроэнергетики.

Современные тенденции исследования региональной экономики, характеризуемой многомерными статистическими данными, требуют применения перспективных технологий их обработки в условиях цифровизации. К числу таких нововведений относятся методы искусственного интеллекта, представленные в работах [12, 13].

Нейронные сети, являющие собой релевантную составляющую искусственного интеллекта, показывают себя эффективным инструментом анализа больших объемов гетерогенных статистических данных среди присутствия и линейных, и нелинейных зависимостей. Это обозначено в работах, посвященных функционированию искусственных нейронных сетей [14–21]. Нейросетевые технологии исполняются в формате быстродействующей аппаратной техники, но чаще при выполнении исследований практикуются нейронные сети в формате их программного моделирования на компьютерах. Среди известных программных пакетов отметим системы MATLAB, Statistica, Viscosity SOMine, Deductor, Loginom

и др. В программных продуктах реализованы нейронные сети различных типов и архитектур, которые обусловлены всевозможными способами взаимодействия нейронов между собой.

В данном случае решение задачи кластеризации регионов России и наглядное изображение исходного многомерного пространства данных выполнено с привлечением нейронных сетей – самоорганизующихся карт Кохонена, рассмотренных в работах³ [17–23].

Следует отметить, что при осуществлении кластеризации многомерных данных достаточно эффективным методом квалифицирует себя классический статистический метод кластерного анализа. Он содержит два основных алгоритма для нахождения кластеров: метод иерархической кластеризации и метод k-средних⁴ [24]. При обращении к обоим методам окончательное решение о количестве кластеров утверждает исследователь. В случае, если исследуемые объекты описываются большим количеством гетерогенных показателей, перед проведением кластерного анализа зачастую проводится факторный анализ в целях сжатия исходного многомерного пространства показателей за счет выявления латентных (скрытых) факторов.

В работе [25] для анализа многомерных данных предложены эффективные методы анализа паттернов. Методами анализа паттернов решаются те же задачи, что и классическими методами кластеризации. Их различие в том, что методы анализа паттернов дают возможность находить скрытое взаимовлияние исследуемых показателей, а также обнаруживать тренды их изменения и определять такие показатели, которые отражают своеобразную динамику объектов.

Креативный и перспективный метод кластерного анализа данных, основанный на искусственном интеллекте и информационных технологиях – самоорганизующихся картах Кохонена, исполненных на платформе аналитического пакета Deductor, предложенный в настоящей работе, не имеет модельных ограничений и представляет в наглядном виде многомерное пространство показателей⁵ [17, 18]. Кроме того, нет внешнего вмешательства в работу нейронной сети и для ее функционирования необходимы всего лишь входные данные.

В результате выполнения кластерного анализа данных на основе нейросетевого моделирования десятимерное пространство показателей энергоэффективности

³ Перова В.И. Нейронные сети в экономических приложениях. Ч. 2. Нейронные сети, обучаемые без учителя. Н. Новгород: ННГУ, 2012. 135 с.; Letiagina E., Perova V., Orlova E. Neural network analysis of the development of physical education and sports in Russia as an economic factor of country security. Proceedings of the 4th International Conference on Innovations in Sports, Tourism and Instructional Science (ICISTIS 2019). AtlantisPress, 2019, no. 11, pp. 174–179. URL: <https://doi.org/10.2991/icistis-19.2019.37>

⁴ Балабанов А.С., Стронгина Н.Р. Анализ данных в экономических приложениях. Н. Новгород: ННГУ, 2004. 135 с.

⁵ Перова В.И. Нейронные сети в экономических приложениях. Ч. 2. Нейронные сети, обучаемые без учителя. Н. Новгород: ННГУ, 2012. 135 с.

региональной экономики за 2020 г. проецировалось с учетом топологического подобия на двумерную самоорганизующуюся карту нейронов. Представим дескриптивную статистику (*табл. 1*), важной функцией которой является распознавание закона распределения рассматриваемых данных.

В случае использования законов распределений, отличающихся от нормального закона, необходимо осуществить количественную оценку этого различия через анализ коэффициентов асимметрии и эксцесса. Для симметричных распределений показателей, описываемых нормальным законом, данные характеристики равны нулю. Большие значения мер формы указывают на радикальное искажение формы распределения показателей в горизонтальном и вертикальном направлениях. При этом имеет место смещение распределения относительно математического ожидания.

При положительном значении коэффициента асимметрии распределение скошено вправо, то есть его более длинная часть лежит правее центра математического ожидания. Из результатов в *табл. 1* имеем, что коэффициент асимметрии положительный для всех показателей, кроме X_3 – X_5 и X_9 . Следовательно, для показателей, значения коэффициентов асимметрии которых положительны, распределения будут скошенными вправо, то есть правый хвост, как правило, толще левого, а вершина смещена влево. Для показателей X_3 – X_5 и X_9 с отрицательными значениями коэффициентов асимметрии, наоборот, распределения будут скошенными влево. Значения эксцесса характеризуют вид вершины графика одномерного распределения по вертикали. Результаты в *табл. 1* показывают, что все показатели имеют положительные значения эксцесса. Вследствие этого их распределения имеют острую вершину и толстые хвосты.

Описанная особенность распределения исходных показателей энергоэффективности экономики регионов России обусловила предложенный нами новый перспективный подход при реализации кластерного анализа гетерогенных статистических данных, базирующийся на нейронных сетях – самоорганизующихся картах Кохонена. Это позволяет получить кластерное решение и сформировать региональные кластеры, характеризующиеся различным уровнем энергоэффективности в контексте поступательного устойчивого экономического развития Российской Федерации в условиях больших вызовов.

Результат кластеризации 85 регионов Российской Федерации – распределение их по восьми региональным кластерам за 2020 г. (*рис. 1*).

Как видно, в результате кластеризации (*рис. 1*) не наблюдается перекрытия кластеров. Тем самым имеет место отсутствие так называемых спорных объектов, которые могли бы относиться к нескольким кластерам. Кроме того, для объективной оценки качества полученного кластерного решения был использован индекс

силуэта, описанный в работе [26], который показал отсутствие перекрытия кластеров, что говорит об обоснованности полученных результатов кластеризации.

Отметим, что рассматриваемые показатели, характеризующие энергоэффективность региональной экономики Российской Федерации, по-разному влияли на создание кластеров. Это подтверждают профили кластеров, представленные в *табл. 2*.

Значимость показателей, которую демонстрируют результаты, представленные в *табл. 2*, устанавливает ее взаимосвязь с формированием кластеров: чем больше значимость показателя, тем весомей его вклад в построение соответствующего кластерного образования.

Количество регионов Российской Федерации, распределившихся в кластеры, и архитектуру кластерных образований иллюстрирует *табл. 3*.

Данные, представленные в *табл. 3*, свидетельствуют, что имеется значительная неравномерность распределения регионов по кластерам. Наибольшее количество регионов образовало кластер № 5, а наименьшее – вошло в состав кластера № 8. При этом количество регионов различается более чем в четыре раза.

Следует обратить внимание на то, что структура кластерных образований не зависит от того, в каком федеральном округе Российской Федерации находится регион.

Данные, приведенные в *табл. 4*, показывают статистику средних значений анализируемых показателей в масштабе кластеров по виду экономической деятельности «обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха», характеризующих энергоэффективность региональной экономики России за 2020 г.

В *табл. 5* представлены средние значения исследуемых показателей по виду экономической деятельности «обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха» в целом по Российской Федерации.

Из данных, представленных в *табл. 4, 5*, следует, что более половины показателей превышают средние значения по Российской Федерации в регионах, вошедших в кластеры № 4, 6–8. Регионы кластера № 1 характеризуются низкими значениями всех показателей, за исключением показателя X_{10} – структура ввода в действие основных фондов по виду экономической деятельности «обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха». Наибольшей мощностью электростанций (X_1), производством, передачей и распределением электроэнергии (X_3) и рентабельностью активов организаций (X_4) характеризуется кластер № 6. Показатель X_2 – производство электроэнергии – аттестуется наибольшим значением в регионах кластера № 8. Рентабельность проданных товаров, продукции (работ, услуг) организаций (X_5) максимальна в регионах

кластера № 8 и имеет отрицательные значения в кластерах № 1, 2, 5. Среди всех кластеров наименьшая емкость ВРП (X_6) наблюдается в кластере № 2 и наибольшая – в кластере № 4. Энерговооруженность труда работников в промышленном производстве (X_7) превышает общероссийские значения в регионах, образовавших кластеры № 2, 4, 6 и 8. Число высокопроизводительных рабочих мест (X_8) больше средних значений по Российской Федерации в четырех из восьми кластеров – № 2, 6–8. Показатель X_9 – степень износа основных фондов – максимальное значение принимает в регионах, составивших кластер № 5, а наименьшее значение этого показателя наблюдается в регионах кластера № 1. Все показатели регионов, вошедших в кластер № 8, имеют значения выше средних по России, кроме показателя X_{10} – структура ввода в действие основных фондов по виду экономической деятельности «обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха».

Выполненное исследование обеспечило должную научную и практическую основу для анализа состояния энергоэффективности региональной экономики в контексте обеспечения поступательного устойчивого развития экономики Российской Федерации в условиях больших вызовов⁶ [27]. Оригинальный авторский метод кластерного анализа гетерогенных статистических данных на основе нейросетевого моделирования, предложенный в работе, являет собой эффективный метод исследования, который не стеснен модельными ограничениями. Применение технологий искусственного интеллекта дало возможность дифференцировать регионы России по рассматриваемой совокупности показателей энергоэффективности.

Полученные результаты свидетельствуют, что перспектива развития энергоэффективности региональной экономики Российской Федерации связана с новым организационно-управленческий подходом, который адекватен актуальным задачам и большим вызовам внешних обстоятельств. Например, среди актуальных задач можно отметить следующие:

- увеличение электровооруженности труда работников промышленных предприятий и организаций. На *рис. 2* представлена динамика электровооруженности труда работников промышленных организаций в фокусе федеральных округов. Данные на *рис. 2* свидетельствуют о негативном влиянии пандемии. Однако, несмотря на пандемию [28–30] и внешние санкции, в 2020 г. данный показатель констатирует небольшой рост по сравнению с 2019 г. в Северо-Западном, Южном, Северо-Кавказском и Дальневосточном федеральных округах;
- максимальное снижение потерь в электрических сетях при осуществлении транспорта электрической энергии;

⁶ О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации: Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 № 642.

- увеличение мощности электростанций, производства электроэнергии и расширение обслуживаемых территорий;
- разработка и внедрение новых технологий в генерации, преобразовании, транспорте и распределении электрической энергии, основанных на инновационной деятельности. На *рис. 3* показана динамика осуществления инноваций организациями по виду экономической деятельности «обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха» за 2018–2020 гг.

Очевидно, что решение этих задач подразумевает и научные разработки, и большие финансовые вложения. Реализация введенных за последние годы в действие ряда фундаментальных документов, нацеленных на инновационное развитие и модернизацию электроэнергетики, будет способствовать совершенствованию энергоэффективности экономики Российской Федерации как детерминанта устойчивого экономического роста и экономической безопасности страны⁷ [31–35].

Результаты настоящей работы могут использоваться органами государственной власти федерального и регионального уровней при выстраивании и реализации оперативных управленческих решений. Кроме этого, методологический подход, основанный на проведении кластерного анализа на базе нейронных сетей, рационально применять при прогнозировании ключевых показателей энергоэффективности экономики Российской Федерации.

Представленные результаты раскрывают перспективы для обсуждений и дальнейших исследований при разработке стратегий и программ развития инновационной экономики, рассмотренных в работах [36–39], в регионах России в условиях новых больших вызовов национальной, в том числе экономической безопасности, а также для регулирования административных решений и бизнес-решений в целях увеличения степени конкурентоустойчивости и экономического роста Российской Федерации.

⁷ О Стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года: Указ Президента Российской Федерации от 13.05.2017 № 208.

Таблица 1**Дескриптивная статистика начальных данных за 2020 г.****Table 1****Descriptive statistics of initial data for 2020**

Обобщающие индикаторы статистики	Начальные данные									
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
Меры положения (центральной направленности)										
Среднее значение	7,1	12,8	65,2	-3	1,5	120,7	59 466,8	11,4	46,7	8,5
Медиана	3,1	5,7	63,9	1,4	2,6	110	52 124	8,9	47,8	5,7
Мода	1,1	1,1	56,3	1,1	7,8	н/д	н/д	17,9	47,8	4
Интерквартильный размах (IQR)	6,8	16,4	16,2	5,5	6,3	52,7	52 531,6	12,6	11,4	5,7
Меры рассеяния (диссипации)										
Дисперсия	101,9	269,4	188	382,3	147	3 342,5	1,81E+09	76,7	119,7	97,7
Стандартное отклонение	10,1	16,4	13,7	19,5	12,1	57,8	42 498	8,8	10,9	9,9
Стандартная ошибка среднего	1,1	1,8	1,5	2,1	1,3	6,3	4 609,6	0,9	1,2	1,1
Коэффициент вариации	141,2	128	21	-642,5	780,8	47,9	71,5	77	23,4	116,7
Минимум	0	0	0,5	-113,1	-47,2	0	2 943,9	0,5	9,4	0,4
Максимум	48,2	77,4	89,2	19,9	45,5	355,5	214 049,3	46,5	75,7	72,3
Размах вариации	48,2	77,4	88,7	133	92,7	355,5	211 105,4	46	66,3	71,9
Меры формы (паттерна, вида) распределения										
Асимметрия	2,3	2	-1	-4,4	-0,5	1,5	1,2	1,5	-0,8	4,3
Экссесс	5,5	3,9	4,7	21,3	5,7	4	1,8	2,6	2,1	22,9

Источник: авторская разработка*Source:* Authoring

Таблица 2
Профили кластеров

Table 2
Cluster profiles

Показатель	Кластер							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Мощность электростанций X1, млн кВт	94,1	51,4	82,1	11,1	99,2	100	69,1	80,2
Производство электроэнергии X2, млрд кВт·ч	95,5	26,1	94,3	51,5	99,7	99,9	71,8	100
Структура объема отгруженной продукции (работ, услуг): производство, передача и распределение электроэнергии X3, %	49,8	14,5	79,2	46,7	64	99,6	49,8	95,7
Рентабельность активов организаций X4, %	100	16,4	71,4	50,1	56,3	72,2	69,7	37,7
Рентабельность проданных товаров, продукции (работ, услуг) организаций X5, %	100	32,8	39,2	89,7	47,2	58,4	61,4	98
Энергоемкость ВРП X6, кг условного топлива на 10 тыс. руб.	41,6	89,7	26,9	100	88	41,7	66,9	69,2
Энерговооруженность труда работников в промышленном производстве X7, кВт·ч	99,7	99,6	21,3	72,7	100	100	8,5	97,2
Число высокопроизводительных рабочих мест X8, тыс. ед.	98,6	11,6	80,2	6	99,8	99,2	100	98,5
Степень износа основных фондов X9, %	99,8	0,4	26,2	36,7	98,8	58,3	38,8	24
Структура ввода в действие основных фондов X10, %	99,7	28,9	19,6	21	76,1	44,1	58,6	40,1

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Таблица 3**Количественный состав и конфигурация региональных кластеров Российской Федерации в 2020 г.****Table 3****Quantitative composition and configuration of regional clusters of the Russian Federation in 2020**

Номер кластера	Количество регионов	Структура кластерного образования
1	8 (9,4%)	Республика Адыгея, Республика Калмыкия, Республика Дагестан, Республика Ингушетия, Кабардино-Балкарская Республика, Республика Северная Осетия – Алания, Чеченская Республика, Чукотский автономный округ
2	8 (9,4%)	Мурманская область, Ямало-Ненецкий автономный округ, Новосибирская область, Забайкальский край, Приморский край, Хабаровский край, Амурская область, Магаданская область
3	17 (20%)	Костромская область, Рязанская область, Тульская область, Ярославская область, Республика Карелия, Республика Коми, Архангельская область, Астраханская область, Карачаево-Черкесская Республика, Удмуртская Республика, Кировская область, Ульяновская область, Алтайский край, Омская область, Томская область, Республика Бурятия, Камчатский край
4	6 (7,1%)	Липецкая область, Вологодская область, Оренбургская область, Челябинская область, Республика Хакасия, Кемеровская область
5	23 (27,1%)	Белгородская область, Брянская область, Владимирская область, Ивановская область, Калужская область, Орловская область, Тамбовская область, Ненецкий автономный округ, Калининградская область, Новгородская область, Псковская область, Республика Крым, Севастополь,

Номер кластера	Количество регионов	Структура кластерного образования
		Республика Марий Эл, Республика Мордовия, Чувашская Республика, Пензенская область, Курганская область, Тюменская область, Республика Алтай, Республика Тыва, Сахалинская область, Еврейская автономная область
6	7 (8,2%)	Воронежская область, Курская область, Смоленская область, Тверская область, Москва, Ленинградская область, Ростовская область
7	11 (12,9%)	Московская область, Санкт-Петербург, Краснодарский край, Волгоградская область, Ставропольский край, Республика Башкортостан, Республика Татарстан, Пермский край, Нижегородская область, Самарская область, Республика Саха (Якутия)
8	5 (7,9%)	Саратовская область, Свердловская область, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, Красноярский край, Иркутская область

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Таблица 4

Средние значения показателей в кластерах по виду экономической деятельности «обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха» в 2020 г.

Table 4

Average values of indicators in clusters by type of economic activity – *Electricity, Gas, Steam and Air Conditioning Supply* in 2020

Показатель	Кластер							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Мощность электростанций X1, млн кВт	0,92	4,61	3,79	6,57	1,4	35,44	10,34	13,06
Производство электроэнергии X2, млрд кВт·ч	0,97	10,86	5,1	17,48	2,26	35,44	18,24	60,56
Структура объема отгруженной продукции (работ, услуг): производство, передача и распределение электроэнергии X3, %	61,4	66,12	60,77	68,8	62,41	80,96	62,33	77,96
Рентабельность активов организаций X4, %	-43,92	-4,5	2,09	2,42	0,1	5,1	3,1	1,3
Рентабельность проданных товаров, продукции (работ, услуг) организаций X5, %	-17,7	-0,29	3,09	10,23	-0,11	5,36	4,76	14,92
Энергоемкость ВРП X6, кг условного топлива на 10 тыс. руб.	109,12	86,7	125,69	268,52	100,61	108,29	103,1	147,52
Энерговооруженность труда работников в промышленном производстве X7, кВт·ч	12 023,1	104 813,2	56 639,1	79 799	26 582,5	130 839,1	58 070,9	102 455,6
Число высокопроизводительных рабочих мест X8, тыс. ед.	3,54	11,84	8,58	11,1	5,32	21,14	23,2	21,18
Степень износа основных фондов X9, %	32,79	46,7	47,64	44,52	53,02	43,19	45,01	48,28
Структура ввода в действие основных фондов X10, %	22,11	7,15	7,85	7,38	5,96	10,69	5,99	6,12

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Таблица 5

Средние значения показателей по виду экономической деятельности «обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха» по Российской Федерации в 2020 г.

Table 5

Average values of indicators by type of economic activity – *Electricity, Gas, Steam and Air Conditioning Supply* in the Russian Federation in 2020

Показатель	Среднее значение
X1	7,15
X2	12,82
X3	65,22
X4	-3,04
X5	1,55
X6	120,68
X7	59 466,8
X8	11,38
X9	46,72
X10	8,47

Источник: авторская разработка по данным Росстата

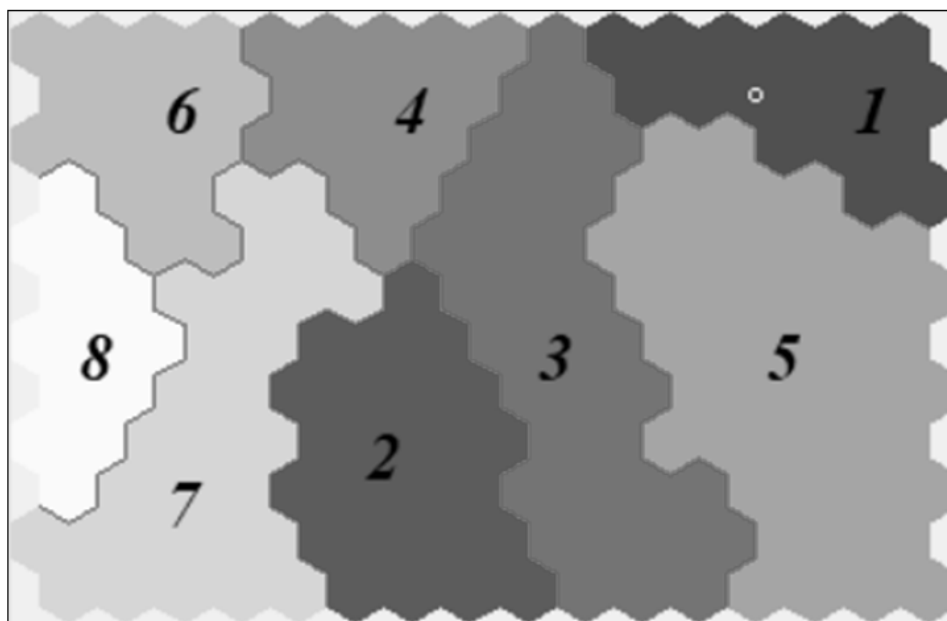
Source: Authoring, based on the Rosstat data

Рисунок 1

Самоорганизующаяся топологическая карта нейронов за 2020 г.

Figure 1

Self-organizing topological map of neurons for 2020



Источник: авторская разработка

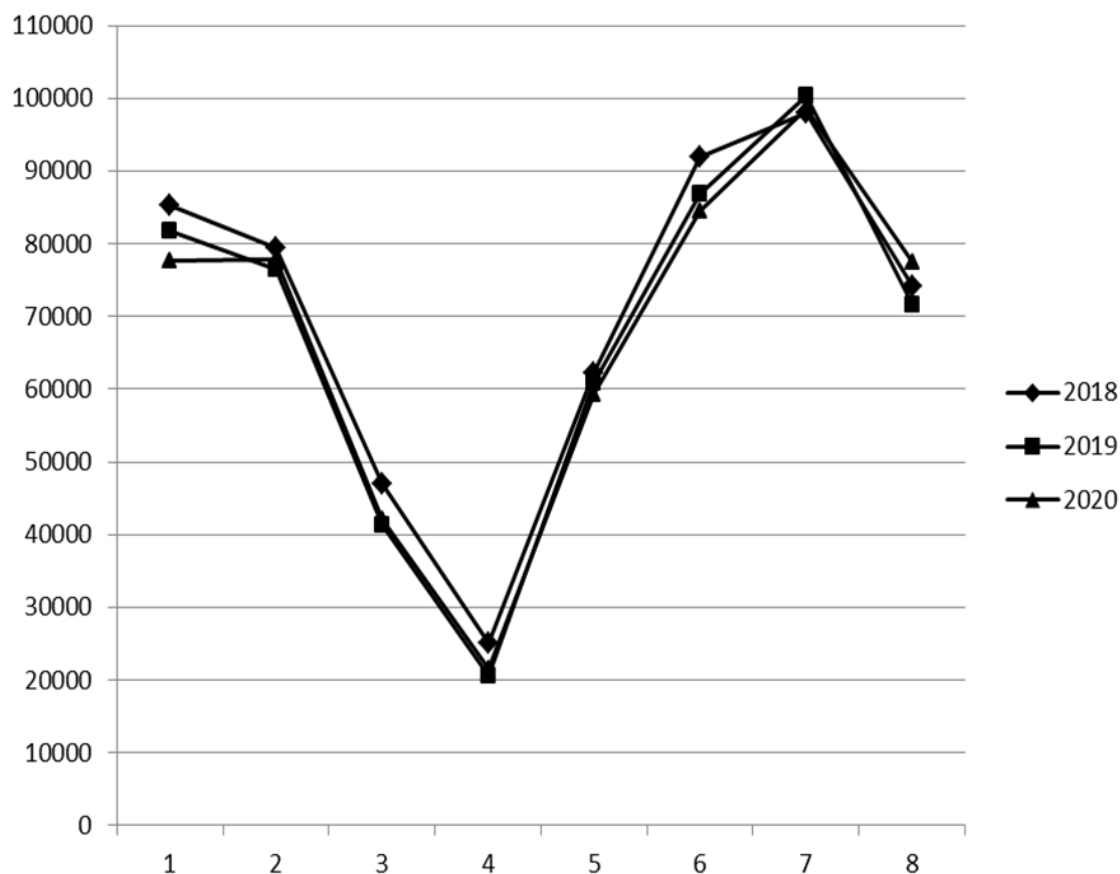
Source: Authoring

Рисунок 2

Динамика электровооруженности труда работников промышленных организаций в федеральных округах Российской Федерации за 2018–2020 гг., кВт·ч

Figure 2

The dynamics of electric intensity of labor of workers of industrial organizations in the Federal Districts of the Russian Federation for 2018–2020, kWh



Примечание. 1 – Центральный федеральный округ, 2 – Северо-Западный федеральный округ, 3 – Южный федеральный округ, 4 – Северо-Кавказский федеральный округ, 5 – Приволжский федеральный округ, 6 – Уральский федеральный округ, 7 – Сибирский федеральный округ, 8 – Дальневосточный федеральный округ.

Источник: авторская разработка по данным Росстата

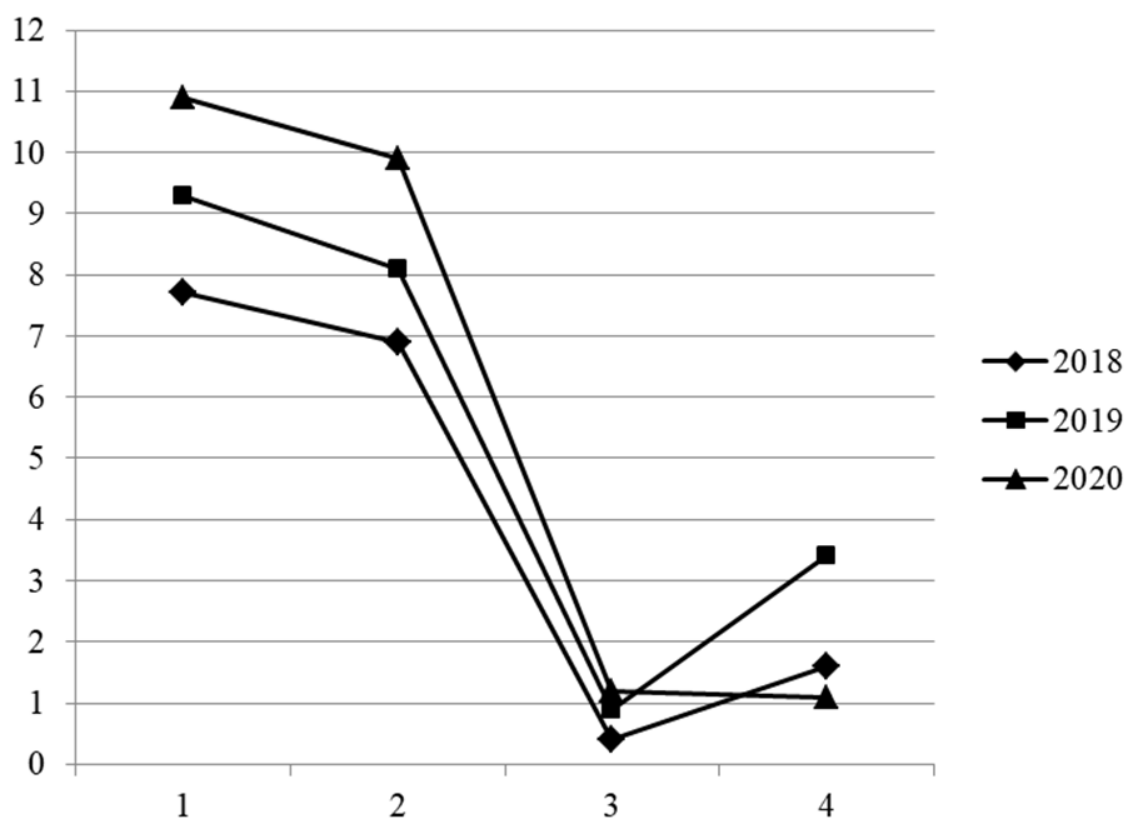
Source: Authoring, based on the Rosstat data

Рисунок 3

Динамика инновационного развития по виду экономической деятельности «обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха» в Российской Федерации за 2018–2020 гг., %

Figure 3

Dynamics of innovative development by type of economic activity – *Electricity, Gas, Steam and Air Conditioning Supply* in the Russian Federation for 2018–2020, percentage



Примечание. 1 – удельный вес организаций, осуществляющих технологические инновации, в общем числе обследованных организаций; 2 – уровень инновационной активности организаций; 3 – удельный вес затрат на инновационную деятельность в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг; 4 – удельный вес инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг.

Источник: авторская разработка по данным Росстата

Source: Authoring, based on the Rosstat data

Список литературы

1. Любушин Н.П., Бабичева Н.Э., Королев Д.С. Экономический анализ возможностей технологического развития России (на примере нанотехнологий) // Экономический анализ: теория и практика. 2012. № 9. С. 2–11.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskii-analiz-vozmozhnostey-tehnologicheskogo-razvitiya-rossii-na-primere-nanotehnologiy?ysclid=ld90m264df532621589>
2. Любушин Н.П., Бабичева Н.Э., Кондрашова Н.В. и др. Экономический анализ устойчивого развития субъектов хозяйствования на основе ресурсоориентированного подхода: монография / под ред. Н.П. Любушина. М.: Русайнс, 2017. 74 с.
3. Бабаев И.А., Соловьева И.А., Дзюба А.П. Региональные резервы энергоэффективности // Экономика региона. 2013. № 3. С. 180–189.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/regionalnye-rezervy-energoeffektivnosti?ysclid=ld90s8pol6660245779>
4. Саенко М.Ю. Энергоэффективность как инновационный фактор социально-экономического развития российской экономики // Теория и практика общественного развития. 2014. № 5. С. 164–166.
URL: http://teoria-practica.ru/rus/files/arhiv_zhurnala/2014/5/ekonomika/saenko.pdf
5. Летягина Е.Н. Значение энергоэффективности в инновационном развитии России // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2011. № 5-2. С. 116–118.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/znachenie-energoeffektivnosti-v-innovatsionnom-razviti-rossii?ysclid=ld90yqzgbo477743079>
6. Уринсон Я.М., Кожуховский И.С., Сорокин И.С. Реформирование российской электроэнергетики: результаты и нерешенные вопросы // Экономический журнал ВШЭ. 2020. Т. 24. № 3. С. 323–339.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/reformirovanie-rossiyskoy-elektroenergetiki-rezultaty-i-nereshennyye-voprosy?ysclid=ld913ljnz4571532992>
7. Валентей С., Бахтизин А., Кольчугина А. Готовность региональных экономик к модернизации // Федерализм. 2018. № 3. С. 143–157.
URL: <https://federalizm.rea.ru/jour/article/view/70>
8. Летягина Е.Н. Энергетическая отрасль в условиях инновационного развития экономики: монография. М.: Креативная экономика, 2011. 160 с.
9. Филиппов С.П., Мохина Е.В., Макарова Е.М. и др. Энергоэффективность российской экономики: современное состояние и перспективы // Известия

- Российской академии наук. Энергетика. 2010. № 4. С. 56–65.
URL: https://www.eriras.ru/files/fillipov_enjergoeffektivnost_rossijskoj_ekonomiki_enjergjetika_ran_4-10.pdf?ysclid=ld91hraqgb636915671
10. Папков Б.В., Илюшин П.В., Куликов А.Л. Надежность и эффективность современного электроснабжения: монография. Н. Новгород: XXI век, 2021. 160 с.
11. Samarina V.P., Skufina T.P., Baranov S.V. Power Efficiency of Russia's Economy: Problems of the Estimation and Increasing Directions. *Actual Problems of Economics*, 2015, no. 11, pp. 127–136.
12. Перова В.И., Зайцева К.В. Исследование динамики инновационной деятельности регионов России с применением нейросетевого моделирования // *Экономический анализ: теория и практика*. 2017. Т. 16. Вып. 5. С. 887–901.
URL: <https://doi.org/10.24891/ea.16.5.887>
13. Di Tollo G., Tanev S., Slim K.M., De March D. Determining the Relationship Between Co-creation and Innovation by Neural Networks. In: Faggini M., Parziale A. (eds) *Complexity in Economics: Cutting Edge Research. New Economic Windows*. Springer, Cham, 2014, pp. 49–62.
URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-05185-7_3
14. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. М.: Вильямс, 2006. 1104 с.
15. Летягина Е.Н., Перова В.И. Нейросетевое моделирование региональных инновационных экосистем // *Journal of New Economy*. 2021. Т. 22. № 1. С. 71–89.
URL: <https://doi.org/10.29141/2658-5081-2021-22-1-4>
16. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей. М.: Вильямс, 2003. 288 с.
17. Kohonen T. Self-Organized Formation of Topologically Correct Feature Maps. *Biological Cybernetics*, vol. 43, iss. 1, pp. 59–69.
URL: <https://doi.org/10.1007/BF00337288>
18. Kohonen T. The Self-Organizing Map. *Proceedings of the IEEE*, 1990, vol. 78, iss. 9, pp. 1464–1480. URL: <https://doi.org/10.1109/5.58325>
19. Kohonen T., Oja T., Simula O. et al. Engineering Applications of the Self-Organizing Map. *Proceedings of the IEEE*, 1996, vol. 84, iss. 10, pp. 1358–1384.
URL: <https://doi.org/10.1109/5.537105>
20. Hinton G.E., Salakhutdinov R.R. Reducing the Dimensionality of Data with Neural Networks. *Science*, 2006, vol. 313, no. 5786, pp. 504–507.
URL: <https://doi.org/10.1126/science.1127647>

21. Peng Lifang, Lai Lingling. A Service Innovation Evaluation Framework for Tourism E-Commerce in China Based on BP Neural Network. *Electronic Markets*, 2014, vol. 24, iss. 1, pp. 37–46.
URL: <https://doi.org/10.1007/s12525-013-0148-0>
22. Sinha S., Singh T.N., Singh V.K., Verma A.K. Epoch Determination for Neural Network by Self-Organized Map (SOM). *Computational Geosciences*, 2010, vol. 14, iss. 1, pp. 199–206. URL: <https://doi.org/10.1007/s10596-009-9143-0>
23. Carboni O.A., Russu P. Assessing Regional Wellbeing in Italy: An Application of Malmquist – DEA and Self-Organizing Map Neural Clustering. *Social Indicators Research*, 2015, vol. 122, iss. 3, pp. 677–700.
URL: <https://doi.org/10.1007/s11205-014-0722-7>
24. Перова В.И., Незнакомцева О.Ю. Исследование динамики социально-экономического развития регионов Российской Федерации // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Социальные науки. 2016. № 4. С. 44–51.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-dinamiki-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitiya-regionov-rossiyskoy-federatsii?ysclid=ld949jffoh472458305>
25. Aleskerov F., Egorova L., Gokhberg L. et al. A Method of Static and Dynamic Pattern Analysis of Innovative Development of Russian Regions in the Long Run. In: Batsyn M., Kalyagin V., Pardalos P. (eds) *Models, Algorithms and Technologies for Network Analysis*. Springer Proceedings in Mathematics & Statistics, vol. 104. Springer, Cham, 2014. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-09758-9_1
26. Kraufman L., Rousseeuw P. *Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis*. NY, John Wiley & Sons, 2005, 342 p.
27. Любушин Н.П., Бабичева Н.Э., Лылов А.И., Пуляхин Е.И. Экономический анализ влияния «больших вызовов» на устойчивость и непрерывность деятельности субъектов хозяйствования // Экономический анализ: теория и практика. 2020. Т. 19. Вып. 12. С. 2253–2275.
URL: <https://doi.org/10.24891/ea.19.12.2253>
28. Головнин М.Ю. Влияние пандемии COVID-19 на мировую финансовую систему // Научные труды Вольного экономического общества России. 2021. Т. 230. № 4. С. 252–258.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-pandemii-covid-19-na-mirovuyu-finansovuyu-sistemu?ysclid=ld96gycv2e516286510>
29. Митяков С.Н. Влияние коронакризиса на экономическую безопасность России // Развитие и безопасность. 2020. № 4. С. 4–16.

30. *Brown R., Cowling M.* The Geographical Impact of the COVID-19 Crisis on Precautionary Savings, Firm Survival and Jobs: Evidence from the United Kingdom's 100 Largest Towns and Cities. *International Small Business Journal: Researching Entrepreneurship*, 2021, vol. 39, iss. 4.
URL: <https://doi.org/10.1177/0266242621989326>
31. *Сенчагов В.К., Иванов Е.А.* Структура механизма современного мониторинга экономической безопасности России. М.: Институт экономики РАН, 2016. 71 с.
URL: https://inecon.org/docs/Senchagov_Ivanov.pdf?ysclid=ld96uku31o336903782
32. *Ускова Т.В.* Ключевые угрозы экономической безопасности России // Проблемы развития территории. 2019. № 1. С. 7–16.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/klyuchevye-ugrozy-ekonomicheskoy-bezopasnosti-rossii?ysclid=ld96weejgn308694326>
33. *Ильин В.А., Ускова Т.В., Гулин К.А.* Экономическая безопасность регионов и механизмы ее повышения // Модернизация и экономическая безопасность России: Т. 2 / под ред. акад. Н.Я. Петракова. М.; СПб.: Нестор-История, 2011. С. 122–162.
34. *Городецкий А.Е.* Экономическая безопасность России: новая стратегия в новых реалиях // Проблемы теории и практики управления. 2018. № 1. С. 8–23.
URL: <https://ptpmag.ru/arhiv/2018/01/>
35. *Караваева И.В., Иванов Е.А., Лев М.Ю.* Паспортизация и оценка показателей состояния экономической безопасности России // Экономика, предпринимательство и право. 2020. Т. 10. № 8. С. 2179–2198.
URL: <https://doi.org/10.18334/epp.10.8.110705>
36. *Макаров В.Л., Айвазян С.А., Афанасьев М.Ю. и др.* Моделирование развития экономики региона и эффективность пространства инноваций // Форсайт. 2016. Т. 10. № 3. С. 76–90. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-razvitiya-ekonomiki-regiona-i-effektivnost-prostranstva-innovatsiy?ysclid=ld979ru3c7807357476>
37. *Клейнер Г.Б., Рыбачук М.А.* Системная сбалансированность экономики России: региональный разрез // Экономика региона. 2019. Т. 15. № 2. С. 309–323.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemnaya-sbalansirovannost-ekonomiki-rossii-regionalnyy-razrez?ysclid=ld97eevlop224831389>
38. *Любушин Н.П., Летягина Е.Н., Перова В.И.* Исследование инновационного развития региональной экономики как императива устойчивого социально-экономического роста России с применением нейросетевого моделирования // Экономический анализ: теория и практика. 2021. Т. 20. Вып. 8. С. 1394–1414.
URL: <https://doi.org/10.24891/ea.20.8.1394>

39. Киселева О.Н. Формирование сбалансированной стратегии инновационного развития предприятий России на основе организационно-управленческих инноваций // *Инновации и инвестиции*. 2017. № 12. С. 279–283.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-sbalansirovannoy-strategii-innovatsionnogo-razvitiya-predpriyatiy-rossii-na-osnove-organizatsionnoupravlencheskih?ysclid=ld97115piv242239123>

Информация о конфликте интересов

Мы, авторы данной статьи, со всей ответственностью заявляем о частичном и полном отсутствии фактического или потенциального конфликта интересов с какой бы то ни было третьей стороной, который может возникнуть вследствие публикации данной статьи. Настоящее заявление относится к проведению научной работы, сбору и обработке данных, написанию и подготовке статьи, принятию решения о публикации рукописи.

NEURAL NETWORK ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY OF THE REGIONAL ECONOMY AS A FACTOR OF RUSSIA'S SUSTAINABLE DEVELOPMENT UNDER CONDITIONS OF BIG CHALLENGES

Nikolai P. LYUBUSHIN ^{a,*},

Elena N. LETYAGINA ^b,

Valentina I. PEROVA ^c

^a Voronezh State University (VSU),
Voronezh, Russian Federation
lubushinnp@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4493-2278>

^b National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod (UNN),
Nizhny Novgorod, Russian Federation
len@fks.unn.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6539-6988>

^c National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod (UNN),
Nizhny Novgorod, Russian Federation
perova_vi@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1992-5076>

* Corresponding author

Article history:

Article No. 15/2023
Received 23 Jan 2023
Received in revised form
30 January 2023
Accepted 7 Feb 2023
Available online
28 February 2023

JEL classification: C45,
O30, R11

Keywords: energy
efficiency, energy policy,
big challenge, cluster
analysis, neural network

Abstract

Subject. We consider the energy efficiency of Russia's regional economy and its impact on sustainable development of the country in the face of big challenges.

Objectives. The focus is on solving the multidimensional task of analyzing the development of energy efficiency of the economy of Russian regions, which relates to difficult-to-formalize tasks and harmonizes with modern requirements of competitiveness.

Methods. We employ the cluster analysis based on neural networks, which are a relevant component of artificial intelligence. We also use the toolkit of artificial neural networks, i.e. Kohonen self-organizing maps. The said tools are free from model limitations and external interference in the functioning of the neural network, and enable to visualize the clustering results of multidimensional data space on the plane.

Results. The cluster analysis of heterogeneous data enabled to distribute Russian regions across eight cluster formations. The considered indicators characterizing the energy efficiency of Russia's regional economy had different effects on the creation of clusters. We obtained a significant unevenness of the distribution of Russian regions by cluster: the number of regions in clusters varied more than fourfold. We determined different levels of energy efficiency of the regions' economy according to the studied indicators on cluster scale. This requires the application of different economic development strategies for regions of the Russian Federation in the focus of cluster formations.

Conclusions. The paper shows the influence of big challenges on the development of energy efficiency of Russia. The findings indicate that to improve the sustainable and progressive development of Russia's economy,

innovative organizational and managerial methods are needed that generate a vector of orientation towards effective solution of urgent challenges facing the country.

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2023

Please cite this article as: Lyubushin N.P., Letyagina E.N., Perova V.I. Neural Network Analysis of Energy Efficiency of the Regional Economy as a Factor of Russia's Sustainable Development under Conditions of Big Challenges. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 2023, vol. 22, iss. 2, pp. 206–234.
<https://doi.org/10.24891/ea.22.2.206>

References

1. Lyubushin N.P., Babicheva N.E., Korolev D.S. [Economic analysis of the opportunities for technological development of Russia (for example nanotechnologies)]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic Analysis: Theory and Practice*, 2012, no. 9, pp. 2–11.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskii-analiz-vozmozhnostey-tehnologicheskogo-razvitiya-rossii-na-primere-nanotekhnologiy?ysclid=ld90m264df532621589> (In Russ.)
2. Lyubushin N.P., Babicheva N.E., Kondrashova N.V. et al. *Ekonomicheskii analiz ustoychivogo razvitiya sub"ektov khozyaistvovaniya na osnove resursoorientirovannogo podkhoda: monografiya* [The economic analysis of sustainable development of economic entities on the basis of the resource-oriented approach: a monograph]. Moscow, Rusains Publ., 2017, 74 p.
3. Babaev I.A., Solov'eva I.A., Dzyuba A.P. [Regional reserves of energy efficiency]. *Ekonomika regiona = Economy of Region*, 2013, no. 3, pp. 180–189.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/regionalnye-rezervy-energoeffektivnosti?ysclid=ld90s8pol6660245779> (In Russ.)
4. Saenko M.Yu. [Energy efficiency as an innovative factor of socio-economic development of the Russian economy]. *Teoriya i praktika obshchestvennogo razvitiya = Theory and Practice of Social Development*, 2014, no. 5, pp. 164–166.
URL: http://teoria-practica.ru/rus/files/arhiv_zhurnala/2014/5/ekonomika/saenko.pdf (In Russ.)
5. Letyagina E.N. [The significance of energy efficiency in Russia's innovative development]. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo = Vestnik of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod*, 2011, no. 5-2, pp. 116–118.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/znachenie-energoeffektivnosti-v-innovatsionnom-razvitii-rossii?ysclid=ld90yqzgbo477743079> (In Russ.)

6. Urinson Ya.M., Kozhukhovskii I.S., Sorokin I.S. [The Russian Electricity Reform: Achievements and Unresolved Issues]. *Ekonomicheskii zhurnal VshE = HSE Economic Journal*, 2020, vol. 24, no. 3, pp. 323–339.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/reformirovanie-rossiyskoy-elektroenergetiki-rezultaty-i-nereshennye-voprosy?ysclid=ld913ljnz4571532992> (In Russ.)
7. Valentei S., Bakhtizin A., Kol'chugina A. [The readiness of regional economies to modernization]. *Federalizm = Federalism*, 2018, no. 3, pp. 143–157.
URL: <https://federalizm.rea.ru/jour/article/view/70> (In Russ.)
8. Letyagina E.N. *Energeticheskaya otrasl' v usloviyakh innovatsionnogo razvitiya ekonomiki: monografiya* [The energy industry in the conditions of innovative economic development: a monograph]. Moscow, Kreativnaya ekonomika Publ., 2011, 160 p.
9. Filippov S.P., Mokhina E.V., Makarova E.M. et al. [Energy efficiency of Russian economy: At present and in the future]. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Energetika = Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Energy*, 2010, no. 4, pp. 56–65.
URL: https://www.eriras.ru/files/filipov_enjergoeffektivnost_rossijskoj_ekonomiki_enjergjetika_ran_4-10.pdf?ysclid=ld91hraqgb636915671 (In Russ.)
10. Papkov B.V., Ilyushin P.V., Kulikov A.L. *Nadezhnost' i effektivnost' sovremennogo elektrosnabzheniya: monografiya* [Reliability and efficiency of modern power supply: a monograph]. Nizhny Novgorod, XXI vek Publ., 2021, 160 p.
11. Samarina V.P., Skufina T.P., Baranov S.V. Power Efficiency of Russia's Economy: Problems of the Estimation and Increasing Directions. *Actual Problems of Economics*, 2015, no. 11, pp. 127–136.
12. Perova V.I., Zaitseva K.V. [Researching the trends in innovation activity of Russian regions using the neural simulation]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic Analysis: Theory and Practice*, 2017, vol. 16, iss. 5, pp. 887–901. (In Russ.) URL: <https://doi.org/10.24891/ea.16.5.887>
13. Di Tollo G., Tanev S., Slim K.M., De March D. Determining the Relationship Between Co-creation and Innovation by Neural Networks. In: Faggini M., Parziale A. (eds) *Complexity in Economics: Cutting Edge Research. New Economic Windows*. Springer, Cham, 2014, pp. 49–62.
URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-05185-7_3
14. Haykin S. *Neironnye seti: polnyi kurs* [Neural Networks: A Comprehensive Foundation]. Moscow, Vil'yams Publ., 2006, 1104 p.

15. Letyagina E.N., Perova V.I. [Neural network modelling of regional innovation ecosystems]. *Journal of New Economy*, 2021, vol. 22, no. 1, pp. 71–89. (In Russ.)
URL: <https://doi.org/10.29141/2658-5081-2021-22-1-4>
16. Callan R. *Osnovnye kontseptsii neironnykh setei* [The Essence of Neural Networks]. Moscow, Vil'yams Publ., 2003, 288 p.
17. Kohonen T. Self-Organized Formation of Topologically Correct Feature Maps. *Biological Cybernetics*, vol. 43, iss. 1, pp. 59–69.
URL: <https://doi.org/10.1007/BF00337288>
18. Kohonen T. The Self-Organizing Map. *Proceedings of the IEEE*, 1990, vol. 78, iss. 9, pp. 1464–1480. URL: <https://doi.org/10.1109/5.58325>
19. Kohonen T., Oja T., Simula O. et al. Engineering Applications of the Self-Organizing Map. *Proceedings of the IEEE*, 1996, vol. 84, iss. 10, pp. 1358–1384.
URL: <https://doi.org/10.1109/5.537105>
20. Hinton G.E., Salakhutdinov R.R. Reducing the Dimensionality of Data with Neural Networks. *Science*, 2006, vol. 313, no. 5786, pp. 504–507.
URL: <https://doi.org/10.1126/science.1127647>
21. Peng Lifang, Lai Lingling. A Service Innovation Evaluation Framework for Tourism E-Commerce in China Based on BP Neural Network. *Electronic Markets*, 2014, vol. 24, iss. 1, pp. 37–46.
URL: <https://doi.org/10.1007/s12525-013-0148-0>
22. Sinha S., Singh T.N., Singh V.K., Verma A.K. Epoch Determination for Neural Network by Self-Organized Map (SOM). *Computational Geosciences*, 2010, vol. 14, iss. 1, pp. 199–206.
URL: <https://doi.org/10.1007/s10596-009-9143-0>
23. Carboni O.A., Russu P. Assessing Regional Wellbeing in Italy: An Application of Malmquist – DEA and Self-Organizing Map Neural Clustering. *Social Indicators Research*, 2015, vol. 122, iss. 3, pp. 677–700.
URL: <https://doi.org/10.1007/s11205-014-0722-7>
24. Perova V.I., Neznakomtseva O.Yu. [Research into the dynamics of social and economic development of the Russian Federation regions]. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo. Seriya: Sotsial'nye nauki = Vestnik of Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod. Series: Social Sciences*, 2016, no. 4, pp. 44–51.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-dinamiki-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitiya-regionov-rossiyskoy-federatsii?ysclid=ld949jffoh472458305> (In Russ.)

25. Aleskerov F., Egorova L., Gokhberg L. et al. A Method of Static and Dynamic Pattern Analysis of Innovative Development of Russian Regions in the Long Run. In: Batsyn M., Kalyagin V., Pardalos P. (eds) *Models, Algorithms and Technologies for Network Analysis*. Springer Proceedings in Mathematics & Statistics, vol. 104. Springer, Cham, 2014. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-09758-9_1
26. Kraufman L., Rousseeuw P. *Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis*. NY, John Wiley & Sons, 2005, 342 p.
27. Lyubushin N.P., Babicheva N.E., Lylov A.I., Pulyakhin E.I. [An economic analysis of the impact of "grand challenges" on sustainability and business continuity of economic entities]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic Analysis: Theory and Practice*, 2020, vol. 19, iss. 12, pp. 2253–2275. (In Russ.)
URL: <https://doi.org/10.24891/ea.19.12.2253>
28. Golovnin M.Yu. [COVID-19 pandemics impact on international financial system]. *Nauchnye trudy Vol'nogo ekonomicheskogo obshchestva Rossii = Scientific Works of the Free Economic Society of Russia*, 2021, vol. 230, no. 4, pp. 252–258.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-pandemii-covid-19-na-mirovuyu-finansovuyu-sistemu?ysclid=ld96gycv2e516286510> (In Russ.)
29. Mityakov S.N. [Influence of the coronacrisis on the economic security of Russia]. *Razvitie i bezopasnost' = Development and Security*, 2020, no. 4, pp. 4–16. (In Russ.)
30. Brown R., Cowling M. The Geographical Impact of the COVID-19 Crisis on Precautionary Savings, Firm Survival and Jobs: Evidence from the United Kingdom's 100 Largest Towns and Cities. *International Small Business Journal: Researching Entrepreneurship*, 2021, vol. 39, iss. 4.
URL: <https://doi.org/10.1177/0266242621989326>
31. Senchagov V.K., Ivanov E.A. *Struktura mekhanizma sovremennogo monitoringa ekonomicheskoi bezopasnosti Rossii* [The structure of the mechanism of modern monitoring of Russia's Economic security]. Moscow, Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences Publ., 2016, 71 p.
URL: https://inecon.org/docs/Senchagov_Ivanov.pdf?ysclid=ld96uku31o336903782
32. Uskova T.V. [The key threats to Russia's economic security]. *Problemy razvitiya territorii = Problems of Territory's Development*, 2019, no. 1, pp. 7–16.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/klyuchevye-ugrozy-ekonomicheskoy-bezopasnosti-rossii?ysclid=ld96weejgn308694326> (In Russ.)
33. Il'in V.A., Uskova T.V., Gulin K.A. *Ekonomicheskaya bezopasnost' regionov i mekhanizmy ee povysheniya. V kn.: Modernizatsiya i ekonomicheskaya bezopasnost'*

- Rossii [Economic security of regions and mechanisms for its improvement. In: Modernization and Economic Security of Russia]. Moscow, St. Petersburg, Nestor-Istoriya Publ., 2011, vol. 2, pp. 122–162.
34. Gorodetskii A.E. [Economic security of Russia: A new strategy in new realities]. *Problemy teorii i praktiki upravleniya = Theoretical and Practical Aspects of Management*, 2018, no. 1, pp. 8–23.
URL: <https://ptpmag.ru/arhiv/2018/01/> (In Russ.)
35. Karavaeva I.V., Ivanov E.A., Lev M.Yu. [Passportization and assessment of Russia's economic security indicators]. *Ekonomika, predprinimatel'stvo i pravo = Journal of Economics, Entrepreneurship and Law*, 2020, vol. 10, no. 8, pp. 2179–2198.
(In Russ.) URL: <https://doi.org/10.18334/epp.10.8.110705>
36. Makarov V.L., Aivazyán S.A., Afanas'ev M.Yu. et al. [Modeling the Development of the Regional Economy and the Efficiency of the Innovation Space]. *Forsait = Foresight and STI Governance*, 2016, vol. 10, no. 3, pp. 76–90.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-razvitiya-ekonomiki-regiona-i-effektivnost-prostranstva-innovatsiy?ysclid=ld979ru3c7807357476> (In Russ.)
37. Kleiner G.B., Rybachuk M.A. [System Balance of the Russian Economy: Regional Perspective]. *Ekonomika regiona = Economy of Region*, 2019, vol. 15, no. 2, pp. 309–323.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemnaya-sbalansirovannost-ekonomiki-rossii-regionalnyy-razrez?ysclid=ld97eevlop224831389> (In Russ.)
38. Lyubushin N.P., Letyagina E.N., Perova V.I. [Studying the innovative development of regional economy as an imperative of sustainable socio-economic growth in Russia, using neural network modeling]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic Analysis: Theory and Practice*, 2021, vol. 20, iss. 8, pp. 1394–1414.
(In Russ.) URL: <https://doi.org/10.24891/ea.20.8.1394>
39. Kiseleva O.N. [Formation of a balanced strategy of innovative development of Russian enterprises on the basis of organizational and managerial innovations]. *Innovatsii i investitsii = Innovation & Investment*, 2017, no. 12, pp. 279–283.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-sbalansirovannoy-strategii-innovatsionnogo-razvitiya-predpriyatiy-rossii-na-osnove-organizatsionnoupravlencheskih?ysclid=ld97115piv242239123> (In Russ.)

Conflict-of-interest notification

We, the authors of this article, bindingly and explicitly declare of the partial and total lack of actual or potential conflict of interest with any other third party whatsoever, which may arise as a result of the publication of this article. This statement relates to the study, data collection and interpretation, writing and preparation of the article, and the decision to submit the manuscript for publication.