ISSN 1993-047X (Print) / ISSN 2410-0390 (Online)

УДК 338:620.9:502/504(470+571)
JEL: O13, P48, Q2, Q3, Q4, Q5

DOI: http://dx.doi.org/10.21202/1993-047X.14.2020.4.783-799

Научная статья

А. И. ШИНКЕВИЧ[1]

[1] *Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Россия*

НИЗКОУГЛЕРОДНАЯ ЭКОНОМИКА: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ В РОССИИ

Шинкевич Алексей Иванович, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой логистики и управления, Казанский национальный исследовательский технологический университет
Адрес: 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68, тел.: +7 (843) 231-43-13
E-mail: ashinkevich@mail.ru
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-1881-4630
Web of Science Researcher ID: http://www.researcherid.com/rid/ABD-4853-2020
eLIBRARY ID: SPIN-код: 1113-1261, AuthorID: 142837

Цель: систематизация трендов низкоуглеродной экономики в России и выявление драйверов и ингибиторов для ее дальнейшего развития.
Методы: использованы описание и сравнение, позволяющие выявить основные тренды низкоуглеродной экономики; метод главных компонент – для классификации частных показателей ресурсо- и энергоэффективности и выявления ключевых факторов формирования низкоуглеродной экономики.
Результаты: анализ динамики частных показателей развития низкоуглеродной экономики в российских условиях показал снижение энергоемкости, рост электровооруженности труда в промышленном секторе и использования возобновляемых источников энергии, рост совокупных выбросов парниковых газов и образования отходов производства и потребления. На основе метода главных компонент предложена методика классификации частных показателей и ключевых факторов развития и расчета интегрального показателя развития низкоуглеродной экономики. Выявлены ключевые факторы развития низкоуглеродной экономики – энергопотребление и экологический след производства, а также ингибиторы – потребление топливно-энергетических ресурсов на одного занятого, совокупные выбросы парниковых газов, малая степень утилизации отходов производства. По результатам проведенного анализа и моделирования предложены направления повышения эффективности в области ресурсо- и энергосбережения.
Научная новизна: в статье впервые предложена и проведена апробация методики расчета интегрального показателя для низкоуглеродной экономики с учетом интегральных факторов – энергопотребления и экологического следа производства.
Практическая значимость: основные положения и выводы статьи могут быть использованы при разработке программ и проектов в области ресурсоэффективности и сокращения негативных влияний на экологическую сферу в реальном секторе экономики.

Ключевые слова: экономика и управление народным хозяйством; низкоуглеродная экономика; энергоэффективность, ресурсосбережение; энергоемкость ВВП; индекс низкоуглеродной экономики; экосистема; экологическая нагрузка

Благодарность: исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-010-00655, а также в рамках гранта Президента РФ по государственной поддержке ведущих научных школ РФ № НШ-2600.2020.6.

Конфликт интересов: автором не заявлен.

Статья находится в открытом доступе в соответствии с Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/), предусматривающем некоммерческое использование, распространение и воспроизводство на любом носителе при условии упоминания оригинала статьи.

Как цитировать статью: Шинкевич А. И. Низкоуглеродная экономика: проблемы и перспективы развития в России // Актуальные проблемы экономики и права. 2020. Т. 14, № 4. С. 783–799. DOI: http://dx.doi.org/10.21202/1993-047X.14.2020.4.783-799

ISSN 1993-047X (Print) / ISSN 2410-0390 (Online)

The scientific article

A. I. SHINKEVICH[1]

[1] *Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia*

LOW-CARBON ECONOMY: PROBLEMS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT IN RUSSIA

Aleksey I. Shinkevich, Doctor of Economics, Professor, Head of the Department of Logistics and Management, Kazan National Research Technological University
Address: 68 Karl Marx Str., 420015 Kazan, tel.: +7 (843) 231-43-13
E-mail: ashinkevich@mail.ru
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-1881-4630
Web of Science Researcher ID: http://www.researcherid.com/rid/ABD-4853-2020
eLIBRARY ID: SPIN-code: 1113-1261, AuthorID: 142837

Objective: to systematize trends in the low-carbon economy in Russia and to identify drivers and inhibitors for its further development.
Methods: description and comparison were used to identify the main trends in the low-carbon economy; the principal component method was used to classify specific indicators of resource and energy efficiency and to identify the key factors in the formation of a low-carbon economy.
Results: the analysis of the dynamics of specific indicators of the low-carbon economy development in Russia showed a decrease in energy intensity, an increase in the electric power of labor in the industrial sector and the use of renewable energy sources, an increase in total greenhouse gas emissions and in the formation of production and consumption waste. Based on the principal component method, the author proposes a method for classifying the specific indicators and the key development factors and calculating an integral indicator of the low-carbon economy development. The key factors of the low-carbon economy development are identified: energy consumption and the ecological footprint of production, as well as inhibitors – consumption of fuel and energy resources per employee, total greenhouse gas emissions, and a low degree of waste disposal. Based on the analysis and modeling results, we suggest ways to improve efficiency in the sphere of resource and energy saving.
Scientific novelty: the article for the first time proposed and tested the method of calculating the integral indicator for a low-carbon economy, taking into account the integral factors – energy consumption and the ecological footprint of production.
Practical significance: the main provisions and conclusions of the article can be used in the development of programs and projects in the field of resource efficiency and reduction of negative impacts on the environment in the real sector of the economy.

Keywords: Economics and national economy management; Low-carbon economy; Energy efficiency; Resource conservation; Energy intensity of GDP; Low-carbon economy index; Ecosystem; Environmental load

Acknowledgement: the research is carried out with the financial support of the Russian Fund for Basic Research within a scientific project No. 20-010-00655 and the Russian President's grant for state support of the leading scientific schools of the Russian Federation No. NSh-2600.2020.6.

Conflict of Interest: No conflict of interest is declared by the author.

The article is in Open Access in compliance with Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/), stipulating non-commercial use, distribution and reproduction on any media, on condition of mentioning the article original.

For citation: Shinkevich A. I. Low-carbon economy: problems and prospects of development in Russia, *Actual Problems of Economics and Law*, 2020, Vol. 14, No. 4, pp. 783–799 (in Russ.). DOI: http://dx.doi.org/10.21202/1993-047X.14.2020.4.783-799

Введение

Достижение устойчивого развития экономики и общества требует решения проблемы истощения ресурсов, переработки и повторного использования отходов, создания экосистемы производства и потребления, повышения эффективности сферы ресурсо- и энергосбережения. В этой связи переход от «коричневой» (линейной) экономики к низкоуглеродной «зеленой» экономике замкнутого цикла требует повышения результативности производ-

ISSN 1993-047X (Print) / ISSN 2410-0390 (Online)

ственно-хозяйственной деятельности и потребления; замедления времени утраты ресурсов, увеличения жизненного цикла ресурсов на каждой его стадии; усиления процессов коллаборации и межсекторального сотрудничества; перехода к экоцентричным системам управления; использования биотехнологий и технологий ресурсосбережения.

Устойчивое развитие России в направлении низкоуглеродной экономики в рамках энергетической стратегии до 2030 г.[1] в качестве ключевой цели обозначает укрепление энергоэффективности и инновационности секторов промышленности, соответствующих возрастающему спросу на энергоресурсы и вносящих вклад в социальное и экологическое развитие страны.

Одной из ключевых проблем оценки уровня развития низкоуглеродной экономики России является, на наш взгляд, отсутствие динамики показателей, характеризующих биологическую мощность, включающую поток биологических ресурсов для удовлетворения потребностей в них секторов экономики и общества. На сегодняшний момент нет статистической оценки индикаторов потока биологических ресурсов, характеризующих их истощение, и индикаторов запасов, соответствующих резервам. Поэтому с методологической стороны тематика низкоуглеродной экономики в исследованиях зарубежных и российских ученых мало отражает количественные измерения и чаще всего охватывает проблемы политики реализации в области возобновляемых источников энергии [1], концепции и практики устойчивого производства [2], зеленой экономики [3], эффективности экономики и социального прогресса [4], экологического менеджмента [5], альтернативной энергетики [6] и др. Однако в данной области исследования требуется совершенствование методологических подходов к классификации и количественному измерению факторов развития низкоуглеродной экономики в целях выявления общих трендов, проблем и перспектив.

С другой стороны, показатель ВВП, основополагающий для измерения результатов индустриальной экономики, не учитывает в своем составе факторы, входящие в основу низкоуглеродной экономики. В свою очередь, концепция низкоуглеродной экономики предполагает смещение акцента с оценки исключительно производства на дополнение его измерением благосостояния нации с точки зрения экологического и социального контекста для достижения устойчивого развития. Поэтому возникает необходимость в измерении интегрального показателя развития низкоуглеродной экономики в национальных экономических системах.

Из вышеизложенного следует, что цель статьи заключается в систематизации трендов низкоуглеродной экономики в России, классификации ключевых факторов для выявления драйверов и ингибиторов ее дальнейшего развития, комплексной оценке интегрального показателя развития низкоуглеродной экономики. Исходя из цели задачами статьи являются:

1) обобщение тенденций низкоуглеродной экономики в России;

2) классификация частных показателей развития низкоуглеродной экономики в российских условиях;

3) разработка и расчет интегрального показателя развития низкоуглеродной экономики для национальных экономических систем;

4) разработка направлений повышения эффективности в области ресурсо- и энергосбережения.

Обзор литературы

Проблематика низкоуглеродной экономики находит отражение в работах российских и зарубежных исследователей. Так, в статье Я. Г. Аймурзаевой, Д. В. Рыжкова впервые ставится проблема энергетического аудита [7], D. Choi, T. Hwang актуализируют вопрос зеленого производства и зеленых цепей поставок для промышленного производства [8]; среди отечественных ученых данная тематика поднимается в работах Т. Карабут – об «озеленении производства» [9], Л. А. Голованова и Д. Е. Петушенко – об экономии трудозатрат [10], И. В. Казьминой, И. В. Смольяниновой, Т. В. Щеголевой – о влиянии реинжиниринга бизнес-процессов на повышение экологичности производства [11], В. И. Бобкова и М. Н. Мищенко, а также И. И. Емельянова, Н. Н. Зиятдинова, Г. М. Островского – об энергоэффективности химико-технологических систем [12, 13]; научная школа под руководством академика Российской академии наук В. П. Мешалкина занимается изучением проблем оптимизации нефтехимического производства в контексте циркулярной экономики [14, 15]. По-

[1] Энергетическая стратегия России на период до 2030 г. URL: https://minenergo.gov.ru/node/1026 (дата обращения: 15.05.2020).

ISSN 1993-047X (Print) / ISSN 2410-0390 (Online)

лагаем, что немаловажное значение в процессах внедрения ресурсосберегающих технологий в низкоуглеродной экономике принадлежит цифровым технологиям управления производства, которые широко представлены исследованиями таких ученых, как Э. Л. Ицкович – автоматизация технологичных производств [16], В. Н. Костюков, А. В. Костюков – автоматизация ресурсосберегающих технологий [17], В. А. Плотников – цифровизация производства [18], K. L. Choy, G. T. S. Ho, C. K. H. Lee – *RFID*-технологии в промышленном комплексе [19], R. Eslamipoor, M. B. Fakhrzad, Y. Zare Mehrjerdi – роботизация промышленного сектора экономики [20] и др. Считаем, что указанные аспекты цифровизации производства в последующих исследованиях могут рассматриваться как отправная точка для разработки программ ресурсосбережения в промышленности на основе внедрения и развития цифрового производства.

Вопросы моделирования в контексте низкоуглеродной экономики изучаются в следующих исследованиях: Р. Т. Сиразетдинов, Д. С. Марков, В. П. Иванов установили взаимосвязь между показателями риска технологической системы и индикаторами производства [21], В. Иванова показала зависимость уровня экономического развития территорий и загрязнения окружающей среды [22], А. В. Жаворонок смоделировал факторную модель циклического промышленного развития с выделением экономико-географических, институционально-управленческих, финансовых, технологических, информационных факторов [23], F. Cucchiella, I. D'Adamo, M. Gastaldi, S. L. Koh, P. Rosa составили рейтинг европейских стран по уровню энергопотребления в промышленности на основе интегральных индексов использования окружающей среды и углеродного следа [24], J. Chen, C. Adamson отразили влияние флуктуаций на результативность технологических систем в экономике природопользования [25] и др. Таким образом, в научной литературе можно встретить различные типы вопросов развития циклической экономики, а также внедрения ресурсосберегающих и энергоэффективных технологий [26–33], в данной статье мы сосредоточимся на анализе тенденций и моделировании факторов низкоуглеродной экономики в контексте достижения устойчивого развития экономической системы.

Метод и данные

Выборка данных была получена на официальном сайте Росстата за период с 2005 по 2019 г. Таблица 1 представляет описательные статистики частных показателей развития низкоуглеродной экономики России.

В качестве методов исследования в статье использованы описание и сравнение, позволяющие выявить основные тренды низкоуглеродной экономики. Для классификации частных показателей ресурсо- и энергоэффективности по уровню их вклада в развитие низкоуглеродной экономики применялся метод главных компонент с использованием программного продукта *Statistica* [34].

В данном исследовании метод главных компонент позволяет классифицировать частные показатели ресурсо- и энергоэффективности (x_j) в укрупненные новые переменные PC_j (главные компоненты), называемые нами ключевыми факторами развития низкоуглеродной экономики в России. При этом новые укрупненные переменные-факторы содержат в себе максимально возможную долю информации «прежних», исходных частных показателей x_j, являются их линейными комбинациями. Метод главных компонент выстраивает линейные комбинации переменных в порядке убывания их влияния на совокупную дисперсию первоначальных данных. Иными словами, первая главная компонента является линейной комбинацией переменных, обладающей наиболее высокой дисперсией, вторая компонента – второй по величине дисперсией и т. д. Максимально возможное число выделяемых главных компонент равно числу переменных. Дисперсии, соответствующие главным компонентам, называются собственными значениями.

На первом шаге классификации частных показателей ресурсо- и энергоэффективности (x_j) выполняется z-стандартизация исходных переменных x_j через частное от деления разности исходного значения и среднего уровня ряда к среднеквадратическому отклонению.

На втором шаге по вновь полученным стандартизованным переменным z_j определяются главные компоненты и их факторные нагрузки. Согласно критерию Кайзера выделяются те главные компоненты, которые имеют собственные значения больше 1, т. е. если компонента не выделяет дисперсию, эквивалентную дисперсии одной переменной, то она опускается. Такие главные компоненты в данном исследовании

ISSN 1993-047X (Print) / ISSN 2410-0390 (Online)

Таблица 1

Описательные статистики частных показателей развития низкоуглеродной экономики России с 2005 по 2019 г.

Table 1. Descriptive characteristics of specific indicators of low-carbon economy development in Russia from 2005 to 2019

Переменные / Variables	Среднее / Mean	Стандартное отклонение / Standard deviation	Минимум / Minimum	Медиана / Median	Максимум / Maximum
Энергоемкость ВВП, на 10 тыс. рублей / Power intensity of GDP per 10 thousand rubles	141,0	22,9	110,9	134,9	177,0
Электровооруженность труда, кВт·ч / Electric intensity of labor, kilowatt-hour	70 321,4	2 184,2	67 448,0	69 697,1	73 067,2
Потреблено топливно-энергетических ресурсов на одного занятого, тонна условного топлива (т усл. т.) / Consumed fuel-energy resources per one employee, tons of conditional fuel	12,9	0,21	12,5	13,0	13,1
Совокупные выбросы парниковых газов, млн тонн CO_2-эквивалента в год / Aggregate exhausts of greenhouse gases, mln tons of CO_2-equivalent a year	2 093,9	48,2	1 994,0	2 093,7	2 155,5
Выбросы парниковых газов, связанные с промышленными процессами и использованием промышленной продукции, млн тонн CO_2-эквивалента в год / Exhausts of greenhouse gases associated with industrial processes and the use of industrial goods, mln tons of CO_2-equivalent a year	215,0	11,3	197,1	219,1	233,2
Выбросы парниковых газов, связанных с энергетикой, млн тонн CO_2-эквивалента в год / Exhausts of greenhouse gases associated with energy sector, mln tons of CO_2-equivalent a year	1 674,8	39,1	1 601,1	1 666,5	1 730,9
Образование отходов производства и потребления, млн тонн / Formation of production and consumption wastes, mln tons	1 539,1	1 192,8	3 035,5	5 106,5	7 266,1
Утилизация и обезвреживание отходов производства и потребления, млн тонн / Utilization and neutralization of production and consumption wastes, mln tons	2 475,5	783,1	1 265,7	2 352,7	3 818,4
Доля энергетических ресурсов, производимых с использованием возобновляемых источников энергии, % / Share of energy resources produces with renewable energy sources, %	16,6	0,7	15,5	17,0	17,3
Доля производства электрической энергии генерирующими объектами, функционирующими на основе использования возобновляемых источников энергии, % / Share of electric energy produces by facilities working on renewable energy sources, %	0,2	0,05	0,1	0,21	0,24
ВВП на душу населения, млн рублей / GDP per capita, mln rubles	465	87,1	349	461	579

Источник: составлено автором.

Source: compiled by the author.

мы выделяем как ключевые факторы развития низкоуглеродной экономики.

При выделении главных компонент основное внимание уделяется факторным нагрузкам – корреляциям между стандартизованными переменными и выделенными компонентами. Поэтому на третьем шаге в каждый из ключевых факторов мы классифицируем частные показатели с факторной нагрузкой выше 0,6.

И, наконец, используя классификацию частных показателей развития низкоуглеродной экономики и выявленные главные компоненты – ключевые факторы развития низкоуглеродной экономики, – мы измеряем интегральный показатель развития низкоуглеродной экономики для оценки совокупного изменения экологической нагрузки промышленного производства на экономическую систему. Для расчета интегрального показателя развития низкоуглеродной экономики в России предлагаем воспользоваться формулой средней арифметической взвешенной величины:

$$ID = \sum_{i=1}^{k}\{\sum_{j=1}^{m} z_j\} \cdot d_i,$$

где i – количество ключевых факторов развития низкоуглеродной экономики; j – количество z-стандартизированных частных показателей развития низкоуглеродной экономики в составе i-го ключевого фактора; z_j – z-стандартизированный частный показатель развития низкоуглеродной экономики с факторной нагрузкой выше 0,6 в составе i-го ключевого фактора; d_i – доля i-го ключевого фактора в совокупной дисперсии первоначальных данных.

При этом учтем направление влияния частного показателя на развитие низкоуглеродной экономики: если влияние обратное, то z-стандартизированный частный показатель в формулу (1) включается со знаком «–», если влияние прямое – со знаком «+».

ISSN 1993-047X (Print) / ISSN 2410-0390 (Online)

Результаты исследования

Анализ частных индикаторов развития низкоуглеродной экономики в России, с одной стороны, характеризуется положительными тенденциями. Так, ежегодно отмечается снижение энергоемкости экономики с 176,97 на 10 тыс. рублей в 2012 г. до 110,87 в 2018 г. (рис. 1).

С другой стороны, при этом также наблюдается рост электровооруженности труда в промышленном секторе, что отягощает развитие научно-технического прогресса воздействием на дополнительный прирост энергетических мощностей, что одновременно сопровождается ростом потребления топливно-энергетических ресурсов на одного занятого (рис. 2, 3).

Электровооруженность труда характеризовалась ростом с 67 448 кВт·ч в 2012 г. до 72 955 кВт·ч в 2018 г.; потребление топливно-энергетических ресурсов не имело ярко выраженной тенденции – увеличение показателя чередовалось с его снижением, достигнув 13,1 т усл. т. на одного занятого в 2018 г., аналогично уровню 2014 г.; наименьшее значение показателя отмечалось в 2016 г. – 12,5 т усл. т. на одного занятого[2].

Растут совокупные выбросы парниковых газов, достигнув в 2017 г. 2 155,5 млн тонн CO_2-эквивалента в год, относительно 2005 г. прирост составил 8,1 %. Следует отметить, что в период 2012–2014 гг. значение показателя снижалось, затем снова возобновился рост. В структуре совокупных выбросов парниковых газов более 2/3 приходится на диоксид углерода (CO_2), при этом его доля в структуре выбросов остается постоянной. Наибольший прирост выбросов парниковых газов фиксировался по гидрофторуглеродам – 73,2 % относительно 2005 г., снижение отмечалось по выбросам перфторуглеродов (на 49,2 %) и гексафторида серы (на 13,3 %), однако их доля в структуре совокупных выбросов составляет менее 0,5 % (рис. 4)[3].

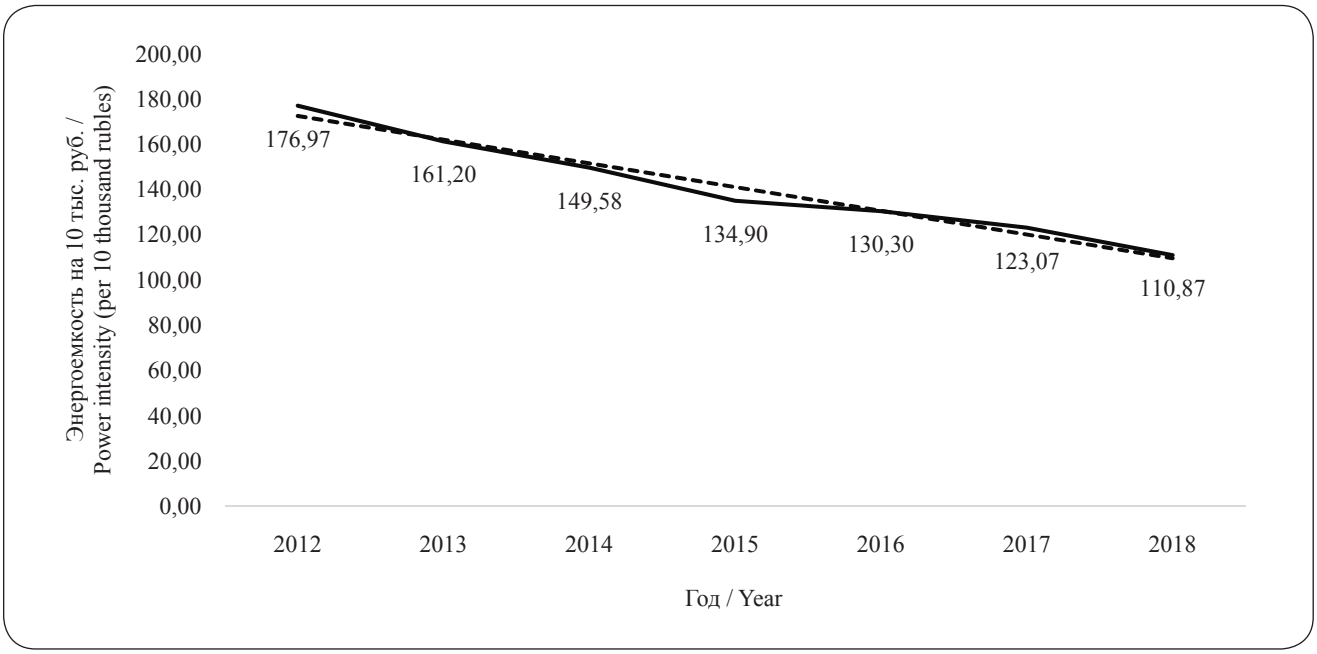

Рис. 1. Динамика энергоемкости ВВП

Источник: составлено автором на основе данных Росстата. URL: https://www.gks.ru/folder/11189 (дата обращения: 10.05.2020).

Fig. 1. Dynamics of energy capacity of GDP

Source: compiled by the author based on Rosstat data, available at: https://www.gks.ru/folder/11189 (access date: 10.05.2020).

[2] Росстат. URL: https://www.gks.ru/folder/11189 (дата обращения: 10.05.2020).

[3] Там же.

ISSN 1993-047X (Print) / ISSN 2410-0390 (Online)

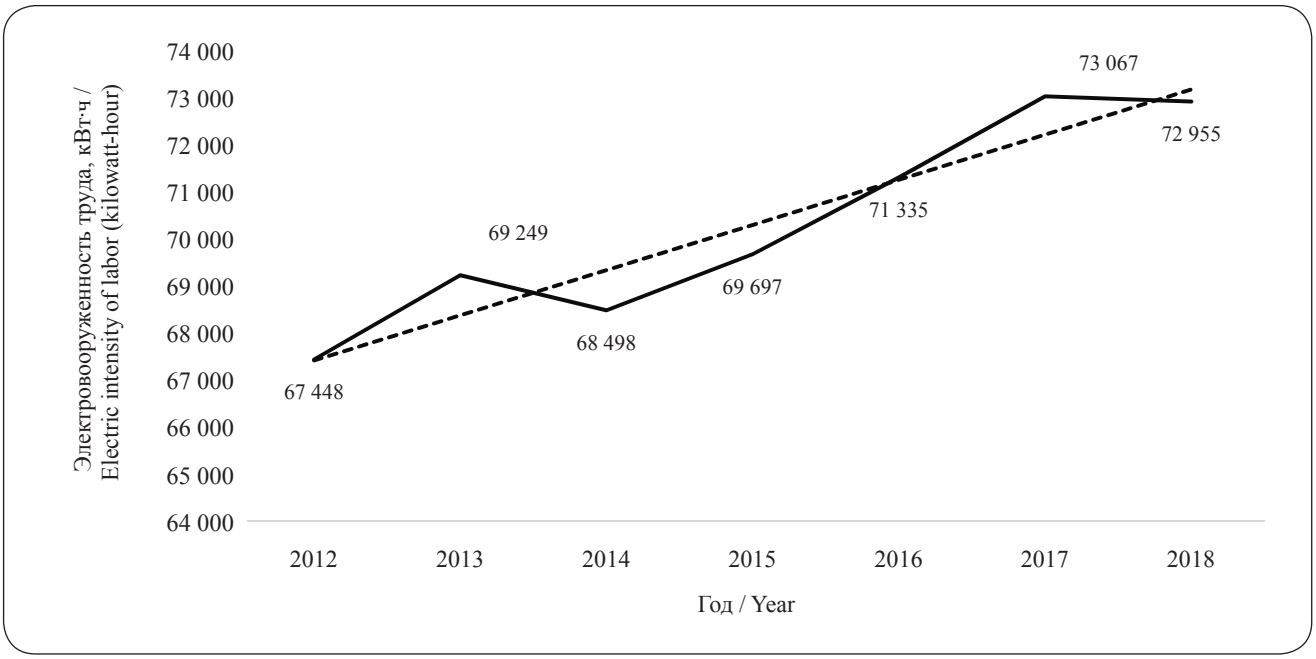

Рис. 2. Динамика электровооруженности труда

Источник: составлено автором на основе данных Росстата. URL: https://www.gks.ru/folder/11189 (дата обращения: 10.05.2020).

Fig. 2. Dynamics of energy intensity of labor

Source: compiled by the author based on Rosstat data, available at: https://www.gks.ru/folder/11189 (access date: 10.05.2020).

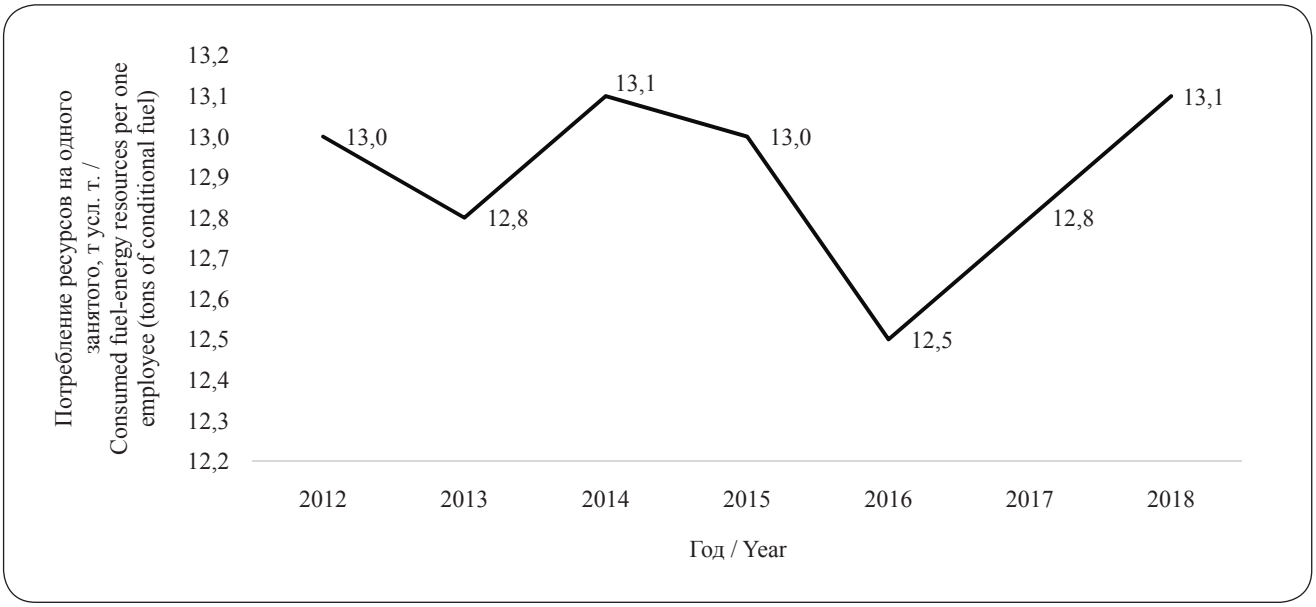

Рис. 3. Динамика потребления топливно-энергетических ресурсов на одного занятого

Источник: составлено автором на основе данных Росстата. URL: https://www.gks.ru/folder/11189 (дата обращения: 10.05.2020).

Fig. 3. Dynamics of fuel-energy resources consumption per one employee

Source: compiled by the author based on Rosstat data, available at: https://www.gks.ru/folder/11189 (access date: 10.05.2020).

ISSN 1993-047X (Print) / ISSN 2410-0390 (Online)

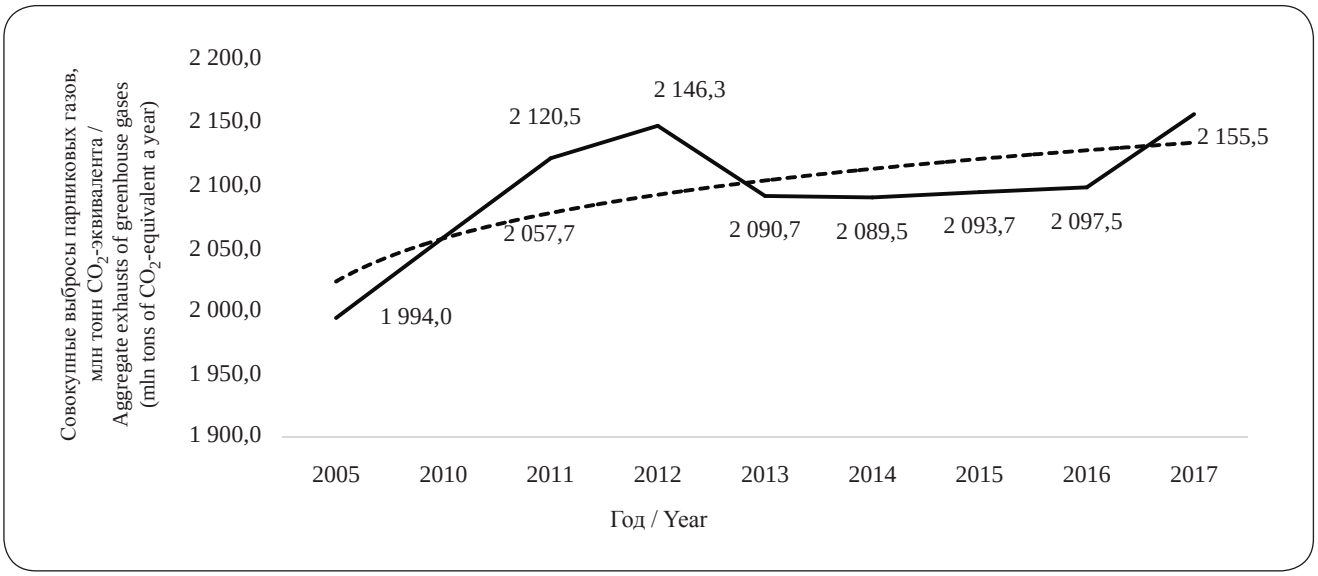

Рис. 4. Динамика совокупных выбросов парниковых газов

Источник: составлено автором на основе данных Росстата. URL: https://www.gks.ru/folder/11189 (дата обращения: 10.05.2020).

Fig. 4. Dynamics of total greenhouse gases exhausts

Source: compiled by the author based on Rosstat data, available at: https://www.gks.ru/folder/11189 (access date: 10.05.2020).

На 6,2 % увеличились выбросы парниковых газов, связанных с энергетикой, достигнув 1 699,9 млн тонн CO_2-эквивалента в год (нисходящий тренд, так же как и в совокупных выбросах, наблюдался в 2012–2014 гг.). Наибольший прирост отмечался в потерях и технологических выбросах от добычи твердых топлив – 18,3 %. Стабильно на уровне 84 % в длительной динамике составляют выбросы от сжигания ископаемых топлив (в 2017 г. их объем исчислялся 1 438,8 млн тонн CO_2-эквивалента в год). Ежегодно растут выбросы парниковых газов, связанные с промышленными процессами и использованием промышленной продукции, составив в 2017 г. 233,2 млн тонн CO_2-эквивалента в год (прирост относительно 2005 г. – 12,3 %). Вызывает тревогу прирост промышленных выбросов от использования фторированных заменителей озоноразрушающих веществ – в 8,2 раза. Структура промышленных выбросов также не претерпела существенных изменений, наибольшая доля в них приходится на выбросы, связанные с промышленными процессами в металлургии – 46,3 % в 2017 г. (в 2005 г. – 52,1 %) (рис. 5)[4].

Ежегодная динамика роста характерна для образования отходов производства и потребления, в том числе опасных, но доля которых в абсолютном и относительном выражении сократилась. По итогам 2018 г. было образовано 7 266,1 млн тонн отходов производства и потребления, что больше уровня 2005 г. в 2,4 раза, относительно 2017 г. прирост составил 16,8 %. Объем опасных отходов, напротив, сократился на 31,2 и 8,5 % соответственно. Среди негативных факторов следует также отметить сокращение соотношения между количеством образованных и утилизированных отходов производства и потребления, которое сократилось с 2,4 раза в 2005 г. до 1,9 в 2018 гг., в среднем за 2005–2018 г. значение показателя составляло 2,1 раза (рис. 6).

Около половины образованных отходов хранится на объектах, принадлежащих предприятию, из которых по сравнению с 2005 г. уменьшилась доля в местах хранения – с 80,4 до 71,2 % при росте доли захороненных – с 19,6 до 28,8 %[5].

[4] Росстат. URL: https://www.gks.ru/folder/11189 (дата обращения: 10.05.2020).

[5] Росстат. URL: https://www.gks.ru/folder/11189 (дата обращения: 10.05.2020).

ISSN 1993-047X (Print) / ISSN 2410-0390 (Online)

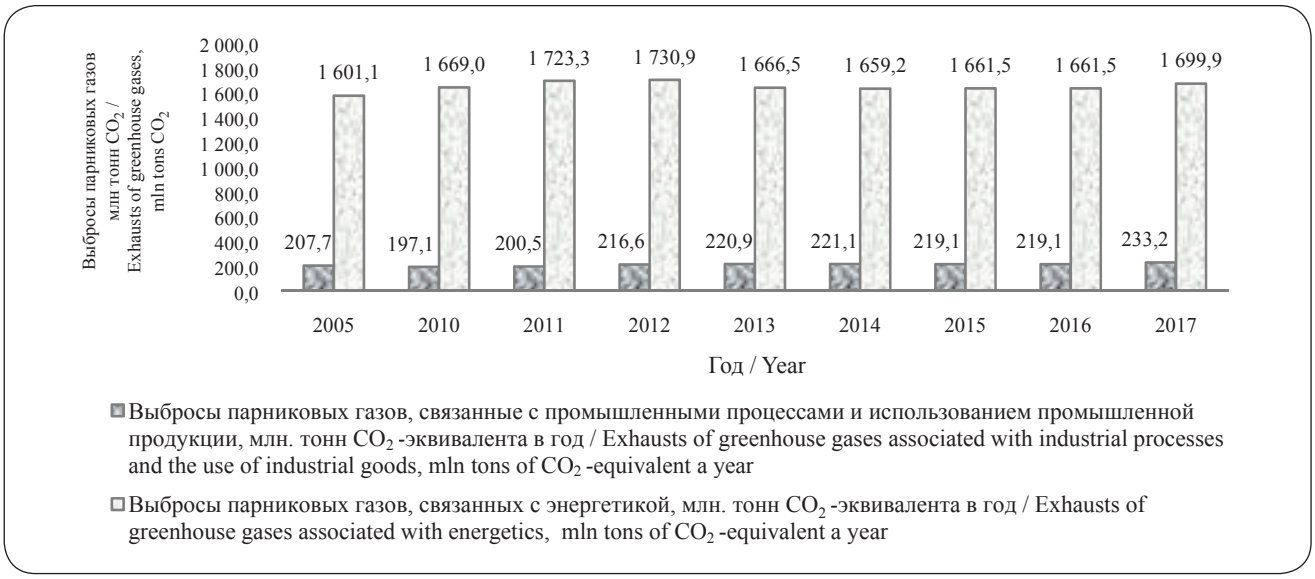

Рис. 5. Динамика выбросов парниковых газов, связанных с промышленными процессами и использованием промышленной продукции (млн тонн CO_2-эквивалента в год)

Источник: составлено автором на основе данных Росстата. URL: https://www.gks.ru/folder/11189 (дата обращения: 10.05.2020).

Fig. 5. Dynamics of greenhouse gases exhausts associated with industrial processes and the use of industrial goods (mln tons of CO_2-equivalent a year)

Source: compiled by the author based on Rosstat data, available at: https://www.gks.ru/folder/11189 (access date: 10.05.2020).

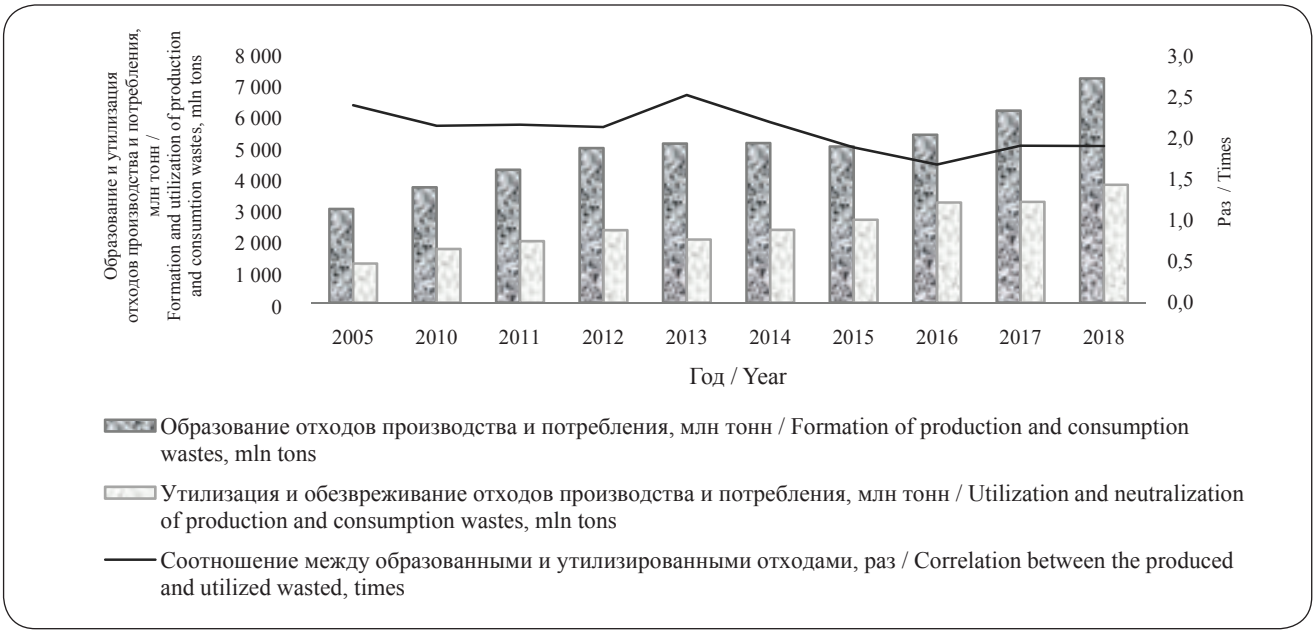

Рис. 6. Динамика образования и утилизации отходов производства и потребления

Источник: составлено автором на основе данных Росстата. URL: https://www.gks.ru/folder/11189 (дата обращения: 10.05.2020).

Fig. 6. Dynamics of forming and utilization of production and consumption wastes

Source: compiled by the author based on Rosstat data, available at: https://www.gks.ru/folder/11189 (access date: 10.05.2020).

ISSN 1993-047X (Print) / ISSN 2410-0390 (Online)

Менее 1 % в среднем за 2012–2018 гг. составляла доля производства электрической энергии, полученной от возобновляемых источников энергии, при этом она увеличилась в два раза – с 0,12 % в 2013 г. до 0,24 % в 2018 г. Доля энергетических ресурсов, производимых с использованием возобновляемых источников энергии, в общем объеме энергетических ресурсов варьировалась от 15,5 % в 2012 г. до 17,3 % в 2018 г., составив в среднем за анализируемый период 16,6 % (рис. 7)[6].

На фоне усиления негативных тенденций в окружающей среде ежегодная положительная динамика роста уровня благосостояния населения, оцениваемая через прирост ВВП, не вызывает сомнений: в 2019 г. ВВП превысил 110 трлн рублей, на душу населения – 579 млн рублей по оценке за 2018 г. (рис. 8)[7].

Классификация частных показателей ресурсо- и энергоэффективности (x_j) методом главных компонент позволила, согласно критерию Кайзера, выделить два ключевых фактора формирования низкоуглеродной экономики в России (табл. 2).

Далее в каждый из ключевых факторов мы классифицировали частные показатели, имеющие факторные нагрузки выше, чем 0,6 (табл. 3).

Первую главную компоненту – первый ключевой фактор – мы назвали «энергопотребление», который образован следующими частными показателями (x_j): энергоемкость ВВП; электровооруженность труда; соотношение между образованными и утилизированными отходами в производстве и потреблении; доля энергетических ресурсов, производимых с использованием возобновляемых источников энергии.

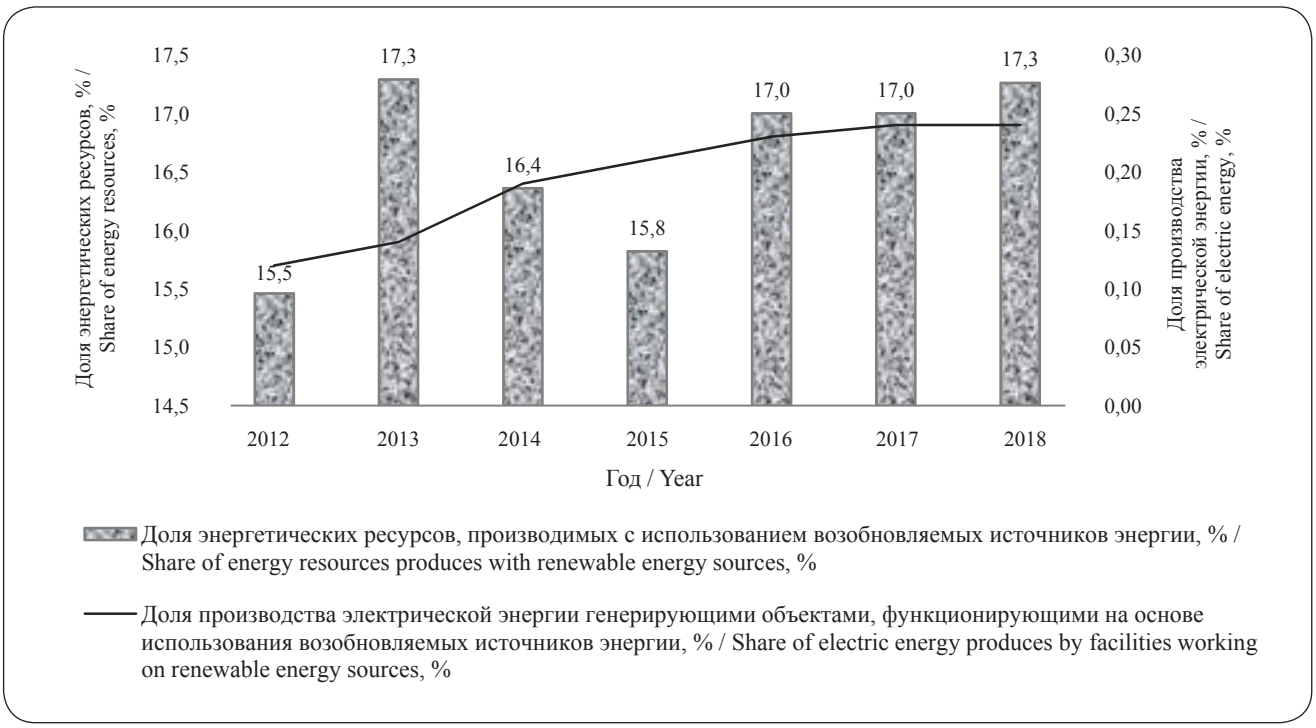

Рис. 7. Использование возобновляемых источников энергии

Источник: составлено автором на основе данных Росстата. URL: https://www.gks.ru/folder/11189 (дата обращения: 20.05.2020).

Fig. 7. Using the renewable energy sources

Source: compiled by the author based on Rosstat data, available at: https://www.gks.ru/folder/11189 (access date: 20.05.2020).

[6] Росстат. URL: https://www.gks.ru/folder/11189 (дата обращения: 10.05.2020).

[7] Росстат. URL: https://www.gks.ru/accounts (дата обращения: 10.05.2020).

ISSN 1993-047X (Print) / ISSN 2410-0390 (Online)

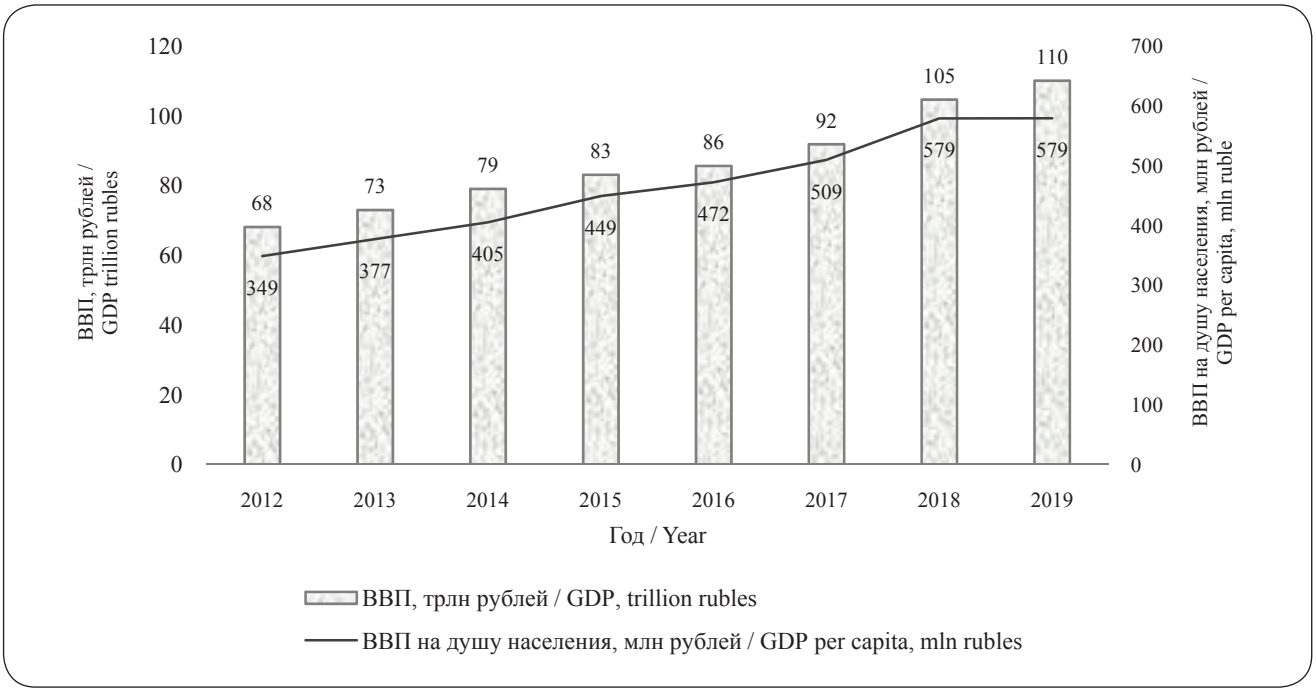

Рис . 8. Динамика ВВП

Источник: составлено автором на основе данных Росстата. URL: https://www.gks.ru/folder/11189 (дата обращения: 20.05.2020).

Fig. 8. GDP dynamics

Source: compiled by the author based on Rosstat data, available at: https://www.gks.ru/folder/11189 (access date: 20.05.2020).

Таблица 2

Компоненты факторов интегрального показателя развития низкоуглеродной экономики

Table 2. Components of factors of the integral indicator of low-carbon economy development

Количество факторов / Number of factors	Собственное значение / Own value	Процент общей дисперсии / General dispersion percentage	Накопленные собственные значения / Accumulated own values	Накопленный процент общей дисперсии / Accumulated general dispersion percentage
1	3,032412	50,54020	3,032412	50,5402
2	1,358162	22,63603	4,390574	73,1762
3	0,970756	16,17927	5,361330	89,3555
4	0,601524	10,02540	5,962854	99,3809
5	0,037085	0,61808	5,999939	99,9990
6	0,000061	0,00102	6,000000	100,0000

Источник: рассчитано автором.

Source: compiled by the author.

Вторая главная компонента – второй ключевой фактор – «экологический след производства» – включает частные показатели (x_j): потребление топливно-энергетических ресурсов на одного занятого и совокупные выбросы парниковых газов.

Первый ключевой фактор является более значимым в оценке развития низкоуглеродной экономики, поскольку изменение входящих в него частных показателей объясняет 50,5 % варьируемости факторного признака – эффективности энергопотребления в промышленности; на второй фактор, характеризующий экологический след производства, приходится 22,6 % изменений в контексте низкоуглеродной экономики. Поэтому первый ключевой фактор – «энергопотребление» – мы отнесем к драйверам развития низкоуглеродной экономики России.

При расчете интегрального индекса *ID* показатели энергоемкости ВВП, электровооруженности труда, совокупных выбросов парниковых газов и потребление топливно-энергетических ресурсов на одного занятого использованы с отрицательным

ISSN 1993-047X (Print) / ISSN 2410-0390 (Online)

Таблица 3

Факторный анализ показателей развития низкоуглеродной экономики

Table 3. Factor analysis of the indicators of low-carbon economy development

Показатель / Indicator	Фактор 1 «Энергопотребление» / Factor 1 "Energy consumption"	Фактор 2 «Экологический след производства» / Factor 2 "Ecological footprint of production"
Энергоемкость ВВП, на 10 тыс. рублей / Power intensity of GDP per 10 thousand rubles	0,926335	0,115987
Электровооруженность труда, кВт·ч / Electric intensity of labor, kilowatt-hour	0,982418	0,046072
Потреблено топливно-энергетических ресурсов на одного занятого, тонна условного топлива (т усл. т.) / Consumed fuel-energy resources per one employee, tons of conditional fuel	0,357279	0,747790
Совокупные выбросы парниковых газов, млн тонн CO_2-эквивалента в год / Aggregate exhausts of greenhouse gases, mln tons of CO_2-equivalent a year	0,413110	0,710894
Соотношение между образованными и утилизированными отходами, раз / Correlation between the produced and utilized wasted, times	0,685149	0,208200
Доля энергетических ресурсов, производимых с использованием возобновляемых источников энергии, % / Share of energy resources produces with renewable energy sources, %	0,664404	0,484436
Общая дисперсия / General dispersion	3,032412	1,358162
Доля общей дисперсии / Share of general dispersion	0,505402	0,226360

Источник: рассчитано автором.

Source: compiled by the author.

знаком. Напротив, показатели соотношения между образованными и утилизированными отходами и доля энергетических ресурсов, производимых с использованием возобновляемых источников энергии, учтены с положительным знаком. Таким образом, интегральный показатель развития низкоуглеродной экономики в России в динамическом сопоставлении составил положительную величину в 2013 г. (1,46), 2014 г. (0,35) и в 2016 г. (0,18); менее эффективным с точки зрения развития низкоуглеродной экономики было производство в 2012 г. (–1,02). По итогам 2018 г. интегральный показатель развития низкоуглеродной экономики в России также характеризовался отрицательной величиной –0,18 (табл. 4).

Таким образом, драйверами развития низкоуглеродной экономики по итогам 2018 г. явились снижение энергоемкости ВВП (рис. 1); электровооруженности труда (рис. 2); рост доли энергетических ресурсов, производимых с использованием возобновляемых источников энергии (рис. 7).

Таблица 4

Интегральный показатель развития низкоуглеродной экономики в России

Table 4. Integral indicator of low-carbon economy development in Russia

Год / Year	Значение интегрального показателя / Integral indicator	Изменение (прирост/снижение) в пунктах / Alteration (increase/decrease) in points
2012	–1,02	–
2013	1,46	2,48
2014	0,35	–1,11
2015	–0,46	–0,81
2016	0,18	0,64
2017	–0,34	–0,53
2018	–0,18	0,16

Источник: рассчитано автором.

Source: compiled by the author.

ISSN 1993-047X (Print) / ISSN 2410-0390 (Online)

Ингибиторами развития низкоуглеродной экономики по итогам 2018 г., прежде всего, явились такие показатели, как прирост потребления топливно-энергетических ресурсов на одного занятого и совокупных выбросов парниковых газов (рис. 3, 5), а также увеличение разрыва между количеством образованных отходов производства с их утилизацией (рис. 6).

Выводы

1. Анализ динамики частных показателей развития низкоуглеродной экономики в российских условиях показал снижение энергоемкости, рост электровооруженности труда в промышленном секторе и использования возобновляемых источников энергии, рост совокупных выбросов парниковых газов и образования отходов производства и потребления. При этом наблюдается положительная динамика роста уровня благосостояния населения, оцениваемая через прирост ВВП. Такие результаты указывают на разбалансированность производственной и экологической подсистем в российской экономике.

2. Классификация частных показателей ресурсо- и энергоэффективности методом главных компонент позволила выделить два ключевых фактора развития низкоуглеродной экономики в России:

– «энергопотребление», который образован частными показателями: энергоемкость ВВП; электровооруженность труда; соотношение между образованными и утилизированными отходами в производстве и потреблении; доля энергетических ресурсов, производимых с использованием возобновляемых источников энергии;

– «экологический след производства», который включает частные показатели: потребление топливно-энергетических ресурсов на одного занятого и совокупные выбросы парниковых газов. Частные показатели фактора «энергопотребление» мы называем драйверами развития низкоуглеродной экономики России.

3. Динамика интегрального показателя развития низкоуглеродной экономики указывает на его снижение.

4. Ингибиторами развития низкоуглеродной экономики явились потребление топливно-энергетических ресурсов на одного занятого, совокупные выбросы парниковых газов, малая степень утилизации отходов производства.

Рекомендации

Анализ ключевых проблем формирования низкоуглеродной экономики в России позволяет выделить основные группы направлений дальнейшего стимулирования в области снижения углеродной нагрузки на экосистему.

1. Разработка и стимулирование реализации программ научных исследований и разработок в области повышения энергоэффективности и ресурсосбережения. Данные программы могут разрабатываться на разных уровнях управления экономической системы и быть направлены на проведение фундаментальных исследований в сфере низкоуглеродного производства с последующим внедрением на предприятиях промышленного сектора и в домашних хозяйствах.

2. Стимулирование проектов в области экологических инноваций на основе сотрудничества науки, бизнеса и государства с привлечением института государственно-частного партнерства и объектов инновационной инфраструктуры к проведению совместных исследований и последующей диффузией экологических инноваций в реальный сектор экономики.

3. Привлечение сектора услуг к реализации проектов низкоуглеродной экономики через развитие банковских консорциумов и фондов для обеспечения финансирования и совместной реализации.

4. Разработка программ внедрения и мониторинга реализации проектов низкоуглеродной экономики на малых предприятиях, в том числе привлечение их к проведению научно-исследовательских работ в данной сфере, а также поощрение внедрения ими низкоуглеродных технологий по специальным государственным программам.

5. Расширение спектра используемых экономических механизмов стимулирования низкоуглеродной экономики посредством налоговых льгот для предприятий, реализующих проекты в данной области, а также совершенствование института ценообразования, при котором цена на товары или услуги, производимые или оказываемые с помощью более экологически чистых технологий, будет ниже. В настоящее время менее экологически чистые технологии и продукция стоят дешевле, но действие отрицательных экстерналий делает их «более дорогими» для общества в целом, что требует пересмотра политики ценообразования и разработки действенных сигналь-

ISSN 1993-047X (Print) / ISSN 2410-0390 (Online)

ных механизмов об экологической составляющей продукции.

6. Развитие институтов консалтинга по вопросам энергоэффективных и ресурсосберегающих технологий для реального сектора экономики и домашних хозяйств.

Таким образом, полагаем, что проведенное исследование является логическим продолжением изучения и совершенствования концепции устойчивого развития, одна из составляющих которой – низкоуглеродная экономика. Предложенные в статье подход и методика к оценке уровня развития низкоуглеродной экономики могут быть положены в основу расширения методологии управления экосистемой при переходе к ресурсосберегающим и энергоэффективным технологиям производства и потребления, формируя новые направления устойчивого роста. Сформированный контур научно-практических рекомендаций, изложенных в статье, может быть использован при разработке программ и проектов в области ресурсоэффективности и сокращения негативных влияний на экологическую сферу.

Список литературы

1. Smeet N. The Green Menace: Unraveling Russia's elite discourse on enabling and constraining factors of renewable energy policies // Energy Research & Social Science. 2018. Vol. 40. Pp. 244–256. DOI: https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.02.016

2. Rosen M. A., Kishawy H. A. Sustainable Manufacturing and Design: Concept, Practices and Needs // Sustainability. 2012. Vol. 4, № 12. Pp. 154–174. DOI: https://doi.org/10.3390/su4020154

3. The German R & D Program for CO2 Utilization – Green Economy / L. Mennicken, A. Janz, S. Roth // Environmental Science and Pollution Research. 2016. Vol. 23, № 11. Pp. 11386–11392. DOI: https://doi.org/10.1007/s11356-016-6641-1

4. Неверно оценивая нашу жизнь: Почему ВВП не имеет смысла? Доклад Комиссии по измерению эффективности экономики и социального прогресса / Д. Стиглиц, А. Сен, Ж.-П. Фитусси: пер. с англ. И. Кушнаревой. М.: Изд-во Института Гайдара, 2016. 216 с.

5. Белик И. С., Майорова Т. В. Инструментарий оценки эффективности экологического менеджмента при низкоуглеродном типе развития экономики // Вестник УрФУ. Серия экономика и управление. 2017. Т. 16, № 1. С. 86–107. DOI: https://doi.org/10.15826/vestnik.2017.16.1.005

6. Развитие альтернативной энергетики в России в контексте формирования модели низкоуглеродной экономики / О. В. Кудрявцева, Е. Н. Митенкова, О. И. Маликова, М. С. Головин // Вестник Московского университета. 2019. № 4. С. 122–139.

7. Аймурзаева Я. Г., Рыжков Д. В. Анализ состояния и оценка эффективности энергетического аудита в России // Актуальные проблемы экономики и права. 2013. № 4 (28). С. 106–112.

8. Choi D., Hwang T. The impact of green supply chain management practices on firm performance: the role of collaborative capability // Operations Management Research. 2015. № 8 (3–4). Pp. 69–83. DOI: https://doi.org/10.1007/s12063-015-0100-x

9. Карабут Т. Все оттенки «зеленого» // Нефтехимия РФ. 2018. № 5 (48). С. 36–39.

10. Голованова Л. А., Петушенко Д. Е. Теоретические аспекты трудосбережения // Ученые заметки ТОГУ. 2016. № 4 (281). С. 680–684.

11. Роль реинжиниринга в системе совершенствования организации производства / И. В. Казьмина, И. В. Смольянинова, Т. В. Щеголева // Инновационная наука. 2016. № 4. С. 173–175.

12. Бобков В. И., Мищенко М. Н. Повышение энергоэффективности химико-энерготехнологической системы фосфорного производства // Энергобезопасность и энергосбережение. 2019. № 2. С. 17–23. DOI: https://doi.org/10.18635/2071-2219-2019-2-17-23

13. Синтез оптимальных одностадийных сетей теплообмена химико-технологических систем / И. И. Емельянов, Н. Н. Зиятдинов, Г. М. Островский // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19, № 17. С. 132–137.

14. Оптимизация энергоресурсоэффективности и экологической безопасности систем газоснабжения / В. П. Мешалкин, Д. Макс-Себастьян, С. М. Ходченко, Р. Р. Кантюков // Датчики и системы. 2017. № 4 (213). С. 3–15.

15. Мешалкин В. П., Ходченко С. М. Сущность и виды инжиниринга энергоресурсоэффективных химико-технологических систем // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2017. № 6. С. 2–10.

16. Ицкович Э. Л. Проведение работ по автоматизации производства: что необходимо учитывать руководству предприятий технологических отраслей // Автоматизация в промышленности. 2017. № 1. С. 14–19.

17. Костюков В. Н., Костюков А. В. Автоматизированные системы управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией и ремонтом оборудования // Главный механик. 2015. № 4. С. 66–73.

ISSN 1993-047X (Print) / ISSN 2410-0390 (Online)

18. Плотников В. А. Цифровизация производства: теоретическая сущность и перспективы развития в российской экономике // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2018. № 4 (112). С. 16–24.

19. A RFID-based storage assignment system for enhancing the efficiency of order picking / K. L. Choy, G. T. S. Ho, C. K. H. Lee // Journal of Intelligent Manufacturing. 2017. № 28 (1). Pp. 111–129. DOI: https://doi.org/10.1007/s10845-014-0965-9

20. A new robust optimization model under uncertainty for new and remanufactured products / R. Eslamipoor, M. B. Fakhrzad, Y. Zare Mehrjerdi // International Journal of Management Science and Engineering Management. 2015. № 10 (2). Pp. 137–143. DOI: https://doi.org/10.1080/17509653.2014.930721

21. Анализ риска производственных систем на основе динамического моделирования / Р. Т. Сиразетдинов, Д. С. Марков, В. П. Иванов // Вестник Казанского государственного технического университета им. А. Н. Туполева. 2018. Т. 74, № 4. С. 84–87.

22. Иванова В. ВРП и загрязнение окружающей среды в регионах России: пространственно-эконометрический анализ // Квантиль. 2019. № 14. С. 53–62.

23. Жаворонок А. В. Циклическая неустойчивость как фактор структурно-технологического обновления // Экономика и управление инновациями. 2019. № 2. С. 50–55. DOI: 10.26730/2587-5574-2019-2-50-55

24. A comparison of environmental and energetic performance of European countries: A sustainability index / F. Cucchiella, I. D'Adamo, M. Gastaldi, S. L. Koh, P. Rosa // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. № 78. Pp. 401–413. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.077

25. Chen J., Adamson C. Innovation: Integration of random variation and creative synthesis // Academy of Management Review. 2015. № 40 (3). Pp. 461–464. DOI: https://doi.org/10.5465/amr.2014.0438

26. Брижак О. В. Динамика технологических укладов в российских корпорациях: потенциал развития высокотехнологичного производства // Вестник Челябинского государственного университета. 2016. № 1. С. 24–35.

27. Костюхин Ю. Ю., Савон Д. Ю. Совершенствование оценочных показателей рынка стали в условиях усиления конкуренции // Черные металлы. 2020. № 4. С. 68–72.

28. Роль кадрового обеспечения в реализации проектов бережливых производственных систем / А. И. Шинкевич, Н. В. Барсегян, В. М. Бабушкин // Вестник Казанского государственного технического университета им. А. Н. Туполева. 2019. № 4. С. 68–72.

29. Кудрявцева С. С. Тенденции развития цифровой экономики в России // Управление устойчивым развитием. 2018. № 2 (15). С. 21–27.

30. Проблемы и основные направления реформирования национальной системы стандартизации и технического регулирования / Б. И. Волостнов, В. В. Поляков, Р. О. Сироткин // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2018. № 2. С. 4–22.

31. Мошев Е. Р., Ромашкин М. А. Комплекс программ для работы с электронной документацией по оборудованию нефтехимических производств // Информационные технологии. Проблемы и решения. 2019. № 4 (9). С. 11–16.

32. Additive manufacturing of biomedical implants: A feasibility assessment via supply-chain cost analysis / A. Emelogu, M. Marufuzzaman, L. Bian, S. M. Thompson, N. Shamsaei // Additive Manufacturing. 2016. № 11. Pp. 97–113. DOI: https://doi.org/10.1016/j.addma.2016.04.006

33. Gölzer P., Fritzsche A. Data-driven operations management: organisational implications of the digital transformation in industrial practice // Production Planning and Control. 2017. № 28 (16). Pp. 1332–1343. DOI: https://doi.org/10.1080/09537287.2017.1375148

34. Боровиков В. П. Популярное введение в современный анализ данных в системе STATISTICA. М.: Финансы и статистика, 2012. 288 с.

References

1. Smeet N. The Green Menace: Unraveling Russia's elite discourse on enabling and constraining factors of renewable energy policies, *Energy Research & Social Science*, 2018, Vol. 40, pp. 244–256. DOI: https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.02.016

2. Rosen M. A., Kishawy H. A. Sustainable Manufacturing and Design: Concept, Practices and Needs, *Sustainability*, 2012, Vol. 4, No. 12, pp. 154–174. DOI: https://doi.org/10.3390/su4020154

3. Mennicken L., Janz A., Roth S. The German R & D Program for CO2 Utilization – Green Economy, *Environmental Science and Pollution Research*, 2016, Vol. 23, No. 11, pp. 11386–11392. DOI: https://doi.org/10.1007/s11356-016-6641-1

4. Stiglitz J., Sen A., Fitoussi J.-P. *Mis-measuring Our Lives. Why GDP Doesn't Add Up*. Report to the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress, Moscow, Izd-vo Instituta Gaidara, 2016. 216 p. (in Russ.).

ISSN 1993-047X (Print) / ISSN 2410-0390 (Online)

5. Belik I. S., Maiorova T. V. Tools of ecological management efficiency assessment in low-carbon economy, *Bulletin of Ural Federal University. Series Economics and Management*, 2017, Vol. 16, No. 1, pp. 86–107 (in Russ.). DOI: https://doi.org/10.15826/vestnik.2017.16.1.005

6. Kudryavtseva O. V., Mitenkova E. N., Malikova O. I., Golovin M. S. Development of alternative energy in Russia in the context of a low-carbon economy model, *Bulletin of Moscow University*, 2019, No. 4, pp. 122–139 (in Russ.).

7. Aimurzayeva Ya. G., Ryzhkov D. V. Analysis of the condition and evaluation of efficiency of energy audit in Russia, *Actual Problems of Economics and Law*, 2013, No. 4 (28), pp. 106–112 (in Russ.).

8. Choi D., Hwang T. The impact of green supply chain management practices on firm performance: the role of collaborative capability, *Operations Management Research*, 2015, No. 8 (3–4), pp. 69–83. DOI: https://doi.org/10.1007/s12063-015-0100-x

9. Karabut T. All shades of "green", *Neftekhimiya RF*, 2018, No. 5 (48), pp. 36–39 (in Russ.).

10. Golovanova L. A., Petushenko D. E. Theoretical aspects of labor-saving, *Scientists notes PNU*, 2016, No. 4 (281), pp. 680–684 (in Russ.).

11. Kaz'mina I. V., Smol'yaninova I. V., Shchegoleva T. V. Role of re-engineering in the system of improving the production organization, *Innovatsionnaya nauka*, 2016, No. 4, pp. 173–175 (in Russ.).

12. Bobkov V., Mischenko M. Improving energy efficiency in phosphorus production, *Energy Safety and Energy Economy*, 2019, Vol. 86, No. 2, pp. 17–23 (in Russ.). DOI: https://doi.org/10.18635/2071-2219-2019-2-17-23

13. Emel'yanov I. I., Ziyatdinov N. N., Ostrovskii G. M. Synthesis of optimal one-stage heat-exchange networks in chemical-technological systems, *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta,* 2016, Vol. 19, No. 17, pp. 132–137 (in Russ.).

14. Meshalkin V. P., Dovi' M.-S., Khodtchenko S. M., Kantyukov R. R. Optimization of energy and resource efficiency and environmental safety of gas supply systems, *Sensors & Systems*, 2017, No. 4 (213), pp. 3–15 (in Russ.).

15. Meshalkin V. P., Khodchenko S. M. Nature and types of engineering of energy-resource effective chemical process systems, *All materials. Encyclopaedic reference manual*, 2017, No. 6, pp. 2–10 (in Russ.).

16. Itskovich E. L. Implementing works on production automation: what should the executives of enterprises in technological sectors take into account, *Journal Automation in Industry*, 2017, No. 1, pp. 14–19 (in Russ.).

17. Kostiukov V. N., Kostiukov A. V. Automated systems for safe resources saving equipment operation and repair, *Glavnyi mekhanik*, 2015, No. 4, pp. 66–73 (in Russ.).

18. Plotnikov V. A. Digitalization of production: the theoretical essence and development prospects in the Russian economy, *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta*, 2018, No. 4 (112), pp. 16–24 (in Russ.).

19. Choy K. L., Ho G. T. S., Lee C. K. H. A RFID-based storage assignment system for enhancing the efficiency of order picking, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2017, No. 28 (1), pp. 111–129. DOI: https://doi.org/10.1007/s10845-014-0965-9

20. Eslamipoor R., Fakhrzad M. B., Zare Mehrjerdi Y. A new robust optimization model under uncertainty for new and remanufactured products, *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 2015, No. 10 (2). Pp. 137–143. DOI: https://doi.org/10.1080/17509653.2014.930721

21. Sirazetdinov R. T., Markov D. S., Ivanov V. P. Risk analysis of production systems based on dynamic modeling, *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. A. N. Tupoleva*, 2018, Vol. 74, No. 4, pp. 84–87 (in Russ.).

22. Ivanova V. GRP and environmental pollution in Russian regions:spatial econometric analysis, Quantile, 2019, No. 14, pp. 53–62 (in Russ.).

23. Zhavoronok A. V. Cyclic instability as a factor of a structural and technological modernization, *Economics and Innovation Management*, 2019, No. 2, pp. 50–55 (in Russ.). DOI: 10.26730/2587-5574-2019-2-50-55

24. Cucchiella F., D'Adamo I., Gastaldi M., Koh S. L., Rosa P. A comparison of environmental and energetic performance of European countries: A sustainability index, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, No. 78, pp. 401–413. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.077

25. Chen J., Adamson C. Innovation: Integration of random variation and creative synthesis, *Academy of Management Review*, 2015, No. 40 (3), pp. 461–464. DOI: https://doi.org/10.5465/amr.2014.0438

26. Brizhak O. V. Corporation: dynamics of technological structures and potential hi-tech: according to corporation position, *Bulletin of Chelyabinsk State University*, 2016, No. 1, pp. 24–35 (in Russ.).

27. Kostyukhin Yu. Yu., Savon D. Yu. Improving the estimation indicators of the steel market under increased competition, *Chernye Metally*, 2020, No. 4, pp. 68–72 (in Russ.).

28. Shinkevich A. I., Barsegyan N. V., Babushkin V. M. Role of staff provision in implementing the projects of lean production systems, *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. A. N. Tupoleva*, 2019, No. 4, pp. 68–72 (in Russ.).

29. Kudryavtseva S. S. Trends of development of the digital economy in Russia, *Upravlenie ustoichivym razvitiem*, 2018, No. 2 (15), pp. 21–27 (in Russ.).

ISSN 1993-047X (Print) / ISSN 2410-0390 (Online)

30. Volostnov B. I., Polyakov V. V., Sirotkin R. O. Problems and main directions for reforming the national standardization and technical regulation system, *Problemy mashinostroeniya i avtomatizatsii*, 2018, No. 2, pp. 4–22 (in Russ.).

31. Moshev E. R., Romashkin M. A. A set of programs for work with electronic documentation for the equipment of petrochemical plants, *Information Technology. Problems and Solutions*, 2019, No. 4 (9), pp. 11–16 (in Russ.).

32. Emelogu A., Marufuzzaman M., Bian L., Thompson S. M., Shamsaei N. Additive manufacturing of biomedical implants: A feasibility assessment via supply-chain cost analysis, *Additive Manufacturing*, 2016, No. 11, pp. 97–113. DOI: https://doi.org/10.1016/j.addma.2016.04.006

33. Gölzer P., Fritzsche A. Data-driven operations management: organisational implications of the digital transformation in industrial practice, *Production Planning and Control*, 2017, No. 28 (16), pp. 1332–1343. DOI: https://doi.org/10.1080/09537287.2017.1375148

34. Borovikov V. P. *Popular introduction to modern data analysis in STATISTICA system*, Moscow, Finansy i statistika, 2012, 288 p. (in Russ.).

Дата поступления / Received 04.06.2020
Дата принятия в печать / Accepted 12.08.2020
Дата онлайн-размещения / Available online 25.12.2020

© Шинкевич А. И., 2020
© Shinkevich A. I., 2020

ПОЗНАНИЕ

Менеджмент 4.0 цифровой экономики Германии: опыт и инструменты для цифровой экономики России / Г. Шеве, С. Хюзиг, Г. И. Гумерова, Э. Ш. Шаймиева. – Казань : Изд-во «Познание» Казанского инновационного университета, 2020. – 75 с.

В настоящей монографии содержатся результаты научно-исследовательской работы авторов за 2013–2019 гг., где инициатива «Индустрия 4.0» представлена на основе обзора трудов немецких ученых как ноу-хау немецкой экономической школы и как концептуально-программная разработка. Методологией исследования является авторская структура реализации «Индустрии 4.0» посредством инструментов «Менеджмент 4.0» в трех блоках: «Индустрия 4.0» – ноу-хау немецкой экономической школы для развития цифровой экономики; реализация «Индустрии 4.0» в организациях цифровой экономики; развитие компетенций в аналоговых и оцифрованных производственных процессах. Авторская структура «Менеджмент 4.0» учитывает пробелы в стартовом этапе российской цифровой экономики. На основе опыта и инструментов «Менеджмента 4.0» сформировано понятие «менеджмент цифровой экономики»: определен инструментарий и разработаны направления развития российской цифровой экономики.

Предназначена для обучающихся по программам бакалавриата и магистратуры по направлениям «Менеджмент», «Экономика», «Инноватика», руководителей, планирующих успешно управлять предприятием в условиях цифровой экономики; специалистов в области цифровой экономики, лиц, повышающих квалификацию или проходящих переподготовку по данным направлениям, а также исследователей, интересующихся вопросами развития теории и практики менеджмента цифровой экономики.