

РАЗДЕЛ III. ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЯМИ,  
ОРГАНИЗАЦИЯМИ, ОТРАСЛЯМИ, КОМПЛЕКСАМИ

doi 10.17072/1994-9960-2020-3-405-422

УДК 338.45:621.38:004

ББК 65.505.142+32.973-018.2

JEL Code O14, P 18

**СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ  
РОССИИ: ОЦЕНКА И МЕЖСТРАНОВЫЕ СРАВНЕНИЯ****Валерий Васильевич Карпов**ORCID ID: [0000-0002-1472-4873](https://orcid.org/0000-0002-1472-4873), Researcher ID: [C-3801-2017](https://orcid.org/C-3801-2017), e-mail: [adm@oscsbras.ru](mailto:adm@oscsbras.ru)**Роман Игоревич Чупин**ORCID ID: [0000-0002-8904-1380](https://orcid.org/0000-0002-8904-1380), Researcher ID: [O-4534-2017](https://orcid.org/O-4534-2017), e-mail: [roman-chupin@ya.ru](mailto:roman-chupin@ya.ru)**Мария Сергеевна Харламова**ORCID ID: [0000-0003-4144-5893](https://orcid.org/0000-0003-4144-5893), Researcher ID: [P-8691-2017](https://orcid.org/P-8691-2017), e-mail: [hms2020@mail.ru](mailto:hms2020@mail.ru)Омский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук  
(Россия, 644024, г. Омск, Карла Маркса пр-т, 15)

По сравнению с мировыми трендами в российских стратегических документах «структурно и качественно новое состояние энергетики» не имеет за собой точного определения и показателей, а также содержит ряд противоречий, в то время как отчетные показатели и технологические достижения в энергетической отрасли носят несистемный характер. В связи с этим целью данного исследования является спецификация условия и показателей позитивного исхода реструктуризации для энергетической отрасли РФ, а также их сравнение со странами – лидерами производства электроэнергии для определения тенденций и стратегических приоритетов энергетического перехода, основанного на широком использовании возобновляемых источников энергии и вытеснении ископаемых видов топлива. Методологическую основу исследования составил модифицированный с учетом отраслевых особенностей и методов оценки структурных сдвигов концептуальный подход О.С. Сухарева к оценке структурных изменений в национальной экономике. Информационная база исследования – данные Международного энергетического агентства. Для реализации методики исследования количественная оценка структурных изменений энергетического баланса РФ производилась на основе идентификации желаемого вектора развития (условия позитивного исхода реструктуризации) и применения существующих методов измерения структурных сдвигов, обеспечивающих сопоставимую оценку общего эффекта изменения структуры и ее элементов. Выполнена проверка условия позитивной трансформации структуры баланса энергоресурсов России. Посредством расчета коэффициентов структурных различий получены количественные оценки общего эффекта изменения структуры энергоресурсов. Проанализированы показатели структурных изменений по статьям энергетического баланса и использования энергии в США, странах ЕС, Китае и РФ. Для получения оценки существенности структурных изменений в энергетической отрасли РФ относительно мировых трендов проведен сравнительный анализ показателей изменения структуры российских энергоресурсов с аналогичными показателями для США, Европы и Китая. Оценка изменений структуры ресурсов тепло- и электроэнергии в России показала, что динамика долей невозобновляемых и альтернативных источников не соответствует условию позитивного исхода реструктуризации, где общий эффект изменения энергетического баланса за семнадцать лет сопоставим с изменениями, произошедшими в американском балансе за последние семь лет. При этом, несмотря на общее дестимулирующее воздействие ковидного кризиса на развитие энергетической отрасли, опыт развитых стран показывает, что сегодня происходит пересмотр приоритетов в стратегическом развитии мировой энергетики и формируются устойчивые предпосылки для внедрения и развития «зеленых» технологий. Следовательно, перспективными направлениями исследований являются прогнозирование динамики структуры энергетического баланса национальной экономики с учетом тенденций энергетического перехода, разработка механизмов и определение инструментов стимулирования использования альтернативных источников энергии, а также оценка эффективности их практического внедрения.

*Ключевые слова:* структурные изменения, структурные сдвиги, реструктуризация, позитивный исход реструктуризации, энергетический баланс, энергетическая стратегия, энергоресурсы, показатели структурных изменений, коэффициенты структурных изменений, ковидный кризис.

© Карпов В.В., Чупин Р.И., Харламова М.С., 2020

Данная статья распространяется на условиях лицензии  
Creative Commons - Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

## **STRUCTURAL CHANGES IN THE ENERGY INDUSTRY OF RUSSIA: ASSESSMENT AND INTERNATIONAL COMPARISONS**

**Valeriy V. Karpov**

ORCID ID: [0000-0002-1472-4873](https://orcid.org/0000-0002-1472-4873), Researcher ID: [C-3801-2017](https://orcid.org/C-3801-2017), e-mail: [adm@oscsbras.ru](mailto:adm@oscsbras.ru)

**Roman I. Chupin**

ORCID ID: [0000-0002-8904-1380](https://orcid.org/0000-0002-8904-1380), Researcher ID: [O-4534-2017](https://orcid.org/O-4534-2017), e-mail: [roman-chupin@ya.ru](mailto:roman-chupin@ya.ru)

**Maria S. Kharlamova**

ORCID ID: [0000-0003-4144-5893](https://orcid.org/0000-0003-4144-5893), Researcher ID: [P-8691-2017](https://orcid.org/P-8691-2017), e-mail: [hms2020@mail.ru](mailto:hms2020@mail.ru)

Omsk Scientific Center, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences  
(15, prospekt Karla Marksa, Omsk, 644024, Russia)

Unlike the global trends, the Russian strategic documents do not contain any precise definition and indicators for a “structurally and qualitatively new status of the energy sector” and also include a number of contradictions, while the reporting indicators and technological achievements are ad hoc. In this regard, this study specifies the conditions and the indicators for a positive outcome of the RF energy industry restructuring, as well as their comparison with the leading countries in electric energy generation to determine the trends and strategic priorities of the energy transition, which is based on a widespread use of renewable energy sources and the displacement of fossil fuels. Modified, industry and assessment method determined Sukharev’s conceptual approach to the structural changes in the national economy is used as the methodological basis for the research. Data from the International Energy Agency is the information database for the study. To implement the methodology of the study, structural changes in the RF energy balance were quantitatively assessed with regard to the identification of the required development vector (conditions for the positive restructuring outcome) and to the application of the existing measurement methods for the structural changes which provide a comparable assessment of the overall effect of changes in the structure and its elements. The conditions for a positive structural transformation of energy have been tested. The coefficients of structural differences were calculated to find the quantitative assessment of the overall effect from the changes in the energy resource structure. The indicators of the structural changes for the energy balance items and energy use in the USA, EU member-states, China, and the RF were analyzed. To assess the structural changes in the RF energy sector against the global trends, the indicators for the changes in the structure of the Russian energy resources were compared with the similar indicators for the US, Europe, and China. Assessment of changes in the structure of heat and electricity resources in Russia shows that the dynamics of the non-renewable and alternative sources shares does not meet the condition for a positive restructuring outcome, with the overall effect of the balance change over seventeen years being comparable with the changes in the American balance over the past seven years. Against the overall discouraging impact of the COVID crisis on the energy industry development, the experience of the developed countries shows that current priorities in the strategic development of the global energy industry are reviewed, and the sustainable prerequisites for the introduction and development of green technologies are being prepared. Hence, the potential areas of the study could cover forecasting of the dynamics in the structure of the national energy balance against the trends in the energy transition, the development of the mechanisms and tools to stimulate the alternative energy sources, as well as to assess the efficiency of their introduction.

*Keywords: structural changes, structural shifts, restructuring, positive outcome of restructuring, energy balance, energy strategy, energy resources, indicators of structural changes, structural differences coefficients, COVID crisis.*

### **Введение**

**Н**еблагоприятная экономическая ситуация, обусловившая, в частности, сокращение спроса на энергоресурсы, приводит к смене приоритетов и направлений развития отраслей, в том числе энергетических. Кроме того, карантинные меры также показали, насколько острыми являются экологические проблемы в промышленных

центрах<sup>1</sup> [1], актуализировав вопросы структурных изменений в энергетике.

<sup>1</sup> Air pollution falls as UK goes into coronavirus lockdown. Evening Standard. URL: <https://www.standard.co.uk/news/uk/pollution-falling-uk-coronavirus-lockdown-a4396051.html> (дата обращения: 15.07.2020); Pollution made COVID-19 worse. Now, lockdowns are clearing the air. National Geographic. URL: <https://www.nationalgeographic.com/science/2020/04/pollution-made-the-pandemic-worse-but-lockdowns-clean-the-sky/> (дата обращения: 15.08.2020).

Анализу структурных изменений посвящено множество исследований. Так, например, разработаны различные методические подходы к выявлению и оценке структурных изменений, включающие широкий перечень индексов и количественных показателей, определяющих массу, скорость, интенсивность структурного сдвига и т. д. На взгляд авторов, несмотря на то, что в современной научной литературе понятие структурного изменения имеет различные трактовки, наблюдается «сближение» в ключевых аспектах определения структурных изменений<sup>1</sup>. Если ранее акцент ставился на количественном изменении пропорций [6, с. 7–8], то в дальнейшем неотъемлемым аспектом стали также качественные изменения взаимосвязей.

Теоретики реиндустриализации в последние годы произвели существенную работу по сбору и систематизации показателей структурных изменений, что положило начало формированию системы ключевых показателей для анализа структурных изменений в экономике регионов [7]. Приведем обобщающее определение структурных изменений: это «соотношение между элементами системы, которое приводит к осязательному изменению качества их взаимодействия и меняет характер их взаимосвязей» [8, с. 21; 9, с. 123; 10, с. 45]<sup>2</sup>. Данное определение согласуется с Энергетической стратегией РФ до 2035 г.<sup>3</sup> Так, согласно комментарию Министерства энергетики РФ к новой Энергетической стратегии ее целью является «достижение структурно и качественно нового состояния энергетики, максимально содействующего динамичному социально-экономическому развитию и

обеспечению национальной безопасности Российской Федерации»<sup>4</sup>.

При этом в Энергетической стратегии не представлено ни одного целевого показателя, характеризующего развитие возобновляемых источников энергии (далее – ВИЭ). Некоторые из них представлены в направлениях государственной политики в сфере повышения энергоэффективности электроэнергетики на основе ВИЭ<sup>5</sup>, которые в России почти полностью сформированы гидроэнергетикой. При этом приложение с целевыми показателями ожидаемых объемов производства электрической энергии на основе ВИЭ в новой редакции утратило силу. Несмотря на отмечающиеся в стратегии новые «низкоуглеродные» тренды, стратегия и ее сценарии строятся при допущении сохранения ресурсно-сырьевого уклада мировой энергетики, в котором Российская Федерация занимает уникальное место одного из крупнейших производителей, потребителей и экспортеров всех видов углеродных энергетических ресурсов. Данное положение, на взгляд авторов, не совсем согласуется с отечественными аналитическими обзорами. В частности, Институт энергетических исследований РАН и Центр энергетики Московской школы управления «Сколково» отмечают, что мировая энергетика находится на 4-м этапе энергетического перехода, состоящем в широком использовании ВИЭ и вытеснении ископаемых видов топлива [13, с. 14–16]<sup>6</sup>.

Более того, на основе предложений климатической конференции ООН COP-21 106 из 162 принятых национальных планов делают особый акцент на ускоренном развитии ВИЭ. 45 государств и 25 отдельных регионов (в частности, некоторые штаты США) планируют либо уже запустили

<sup>1</sup> Схожие определения можно проследить и в зарубежной литературе [2–4]. С подробным обзором существующих подходов и определений понятия структурного изменения, сдвига и трансформации можно ознакомиться, например, в статье [5].

<sup>2</sup> Отметим, что зарубежные ученые в трактовке структурных изменений делают особый акцент на институциональные и технологические инновации [11; 12].

<sup>3</sup> Энергетическая стратегия России на период до 2035 г.: распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р. URL: <http://static.government.ru/media/files/w4sigFOiDjGVDYT4IgsApssm6mZRb7wx.pdf> (дата обращения: 06.08.2020).

<sup>4</sup> Утверждена Энергетическая стратегия Российской Федерации до 2035 года. Министерство энергетики Российской Федерации. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/18038> (дата обращения: 20.06.2020).

<sup>5</sup> На период до 2024 г. устанавливается целевой показатель объема производства и потребления электрической энергии с ВИЭ (кроме гидроэлектростанций установленной мощностью более 25 МВт) на уровне 4,5 % (последняя редакция от 2015 г.).

<sup>6</sup> Подробнее об этапах и содержании энергетического перехода можно ознакомиться в указанном источнике.

национальную систему торговли выбросами CO<sub>2</sub> и прочие «углеродные сборы». Уже имеются подтвержденные практикой позитивные изменения энергобалансов, обусловленные влиянием «углеродных сборов»<sup>1</sup> [13, с. 18; 14]. В странах Азии, напротив, значение имеют, скорее, проблемы локального качества воздуха, особенно в промышленных центрах. Здесь существенную роль играет Китай, будучи крупнейшей по выбросам CO<sub>2</sub> экономикой<sup>2</sup>, которая в последние годы принимает серьезные меры по их сокращению. Главными приоритетами энергетической стратегии Китая являются рост доли неископаемой энергии в общем потреблении первичной энергии до 20 % к 2030 г., увеличение установленной мощности возобновляемой энергии и закрытие части мощностей по добыче угля, не удовлетворяющих техническим и экологическим требованиям. В то же время в российских стратегических документах целевые показатели по ВИЭ весьма размыты и противоречивы: отмечаются одновременно сохранение ресурсно-сырьевого уклада с постепенным увеличением доли ВИЭ и необходимость ускоренного перехода (модернизационного рывка), тогда как неразвитость институтов замедляет технологические инновации [15]. В связи с этим необходимо для начала определить «желаемый» вектор развития энергетической отрасли России и его показатели.

Обобщение имеющихся разработок в определении позитивного исхода реструктуризации с его интегральной количественной оценкой на основе показателей структурных изменений, а также балансовым анализом изменения ключевых элементов структуры во временном и пространственном сопоставлении, по нашему мнению, позволит сформировать ком-

плексную оценку структурных изменений в энергетической отрасли. Для этого необходимо специфицировать условие позитивного исхода реструктуризации для данной отрасли экономики, произвести его интегральную количественную оценку на основе анализа показателей структурных изменений для обеспечения сопоставимой оценки общего эффекта изменения структуры, а также элементов, сформировавших ее трансформацию.

#### **Спецификация условия позитивного исхода реструктуризации для энергетической отрасли и методы его количественной оценки**

О твету на вопрос о приобретаемом качестве изменяющейся системы посвящено множество работ О.С. Сухарева. По мнению многих российских исследователей, при изучении процессов индустриализации необходимо сопоставлять фактические последствия экономической политики с эталонной моделью реструктуризации. Так, в концепции, предложенной О.С. Сухаревым, позитивный исход реструктуризации экономики предполагает условие структурных изменений, при котором временная производная разности долей добывающего сектора (II) и перерабатывающей промышленности (I) принимает значение ниже нуля для ресурсного типа экономики [16]. Если разрыв, показанный на рис. 1, «сокращается, при том, что кривая II символизирует доминирование нежелательного сектора, а кривая I – желательного сектора, то это будет означать позитивный исход реструктуризации системы, а к случаю несырьевого развития – индустриализацию»; «... по сути, постановка задачи реструктуризации – это выбор стратегии движения» [16, с. 7–8]. Так, адаптированное условие для энергетического сектора будет выражаться в разности между производством энергии на основе ископаемых ресурсов и альтернативных (возобновляемых и более экологических) и визуально может быть представлено следующим образом (см. рис. 1).

<sup>1</sup> World Bank Group. 2019. State and trends of carbon pricing 2019. Washington, DC: World Bank. URL: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/31755> (дата обращения: 25.05.2020).

<sup>2</sup> CO<sub>2</sub> Emissions by country 2020. World population review. URL: <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/co2-emissions-by-country> (дата обращения: 19.07.2020).

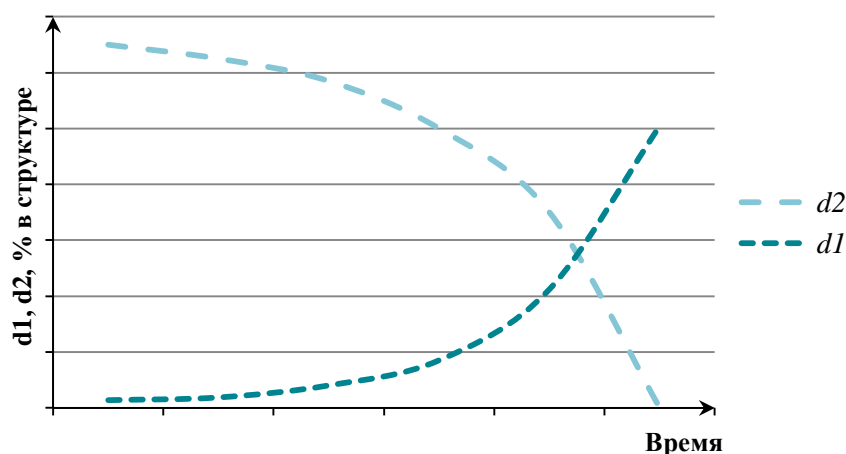


Рис. 1. **Позитивный исход реструктуризации в энергетической отрасли\***

Fig. 1. **Positive restructuring outcome in energy industry**

\*  $dI$  – доля альтернативных и  $dII$  – доля ископаемых источников энергии в структуре энергоресурсов.  
Сост. по источнику [16, с. 6–10].

Выполнение условия позитивного исхода реструктуризации позволяет сформировать понимание желаемой траектории развития и проанализировать динамику ее достижения. Однако предложенная на рисунке модель не может дать интегральную количественную оценку структурным изменениям для временных и пространственных (межстрановых и межрегиональных) сопоставлений, тогда как факт выполнения условия позитивного исхода реструктуризации не отвечает на вопросы о том, изменение каких именно элементов структуры определили полученный результат.

Таким образом, количественная оценка структурных изменений должна отталкиваться от понимания того, какой исход реструктуризации считать позитивным, или, в самом общем понимании, желаемого вектора развития. Для комплексной оценки и анализа показателей структурных изменений представляется необходимым: во-первых, проверить условие позитивного исхода реструктуризации за счет сравнения динамики долей невозобновляемых и альтернативных источников; во-вторых, оценить общий эффект изменения структуры, что позволяют сделать коэффициенты структурных различий; в-третьих, рассмотреть основные показатели изменения уровня ряда, что позволит оценить прирост величины каждого из элементов во времени и затем показатели структурных изменений,

которые определяют изменение доли каждого элемента в структуре. Реализация обозначенных этапов производится на основе как общеизвестных балансовых методов и показателей, характеризующих абсолютные и относительные изменения рядов, так и специальных показателей структурных различий, на которых следует остановиться подробнее.

Количественно оценить структурные изменения позволяют специальные показатели (характеризуют изменение доли определенного элемента в структуре) и коэффициенты (характеризуют общий накопленный эффект изменения структуры в целом), которые строятся на отношениях частей к целому и соотношениях между частями. В данном подходе оценкой структурного изменения считается величина, определяющая различия структуры совокупности в разные моменты. Кроме того, используются показатели темпа прироста (индекс структурного сдвига), цепного и базисного темпа роста (относительный показатель структурного сдвига) [17] или среднего темпа роста (скорость структурных сдвигов) [18], рассчитанные для долей, а также коэффициенты, основанные на сравнении структур как векторов (коэффициент косинуса) [19]. Таким образом, структурные изменения означают различные соотношения между элементами целого, которые определяют новые качественные свойства совокупности.



Имеется множество научных работ, вызванных в том числе возросшим интересом к проблеме реструктуризации экономики, которые систематизировали и расширили перечень данных показателей. Подробно ознакомиться с содержанием и формулами расчета можно, например, в работах [17–22]. Здесь акцентируем внимание лишь на некоторых критических замечаниях.

Так, несмотря на широкий перечень показателей, они часто похожи или различаются лишь названием. К примеру, интенсивность структурного сдвига [18] совпадает с линейным коэффициентом относительных структурных сдвигов [17], который в  $s$  раз больше линейного коэффициента абсолютных структурных сдвигов. Последний, в свою очередь, при наличии структуры из двух элементов, в точности равен индексу различий [19, с. 66], в то время как масса структурного сдвига в различных источниках либо в точности равна индексу различий [20], либо рассчитывается для каждого слагаемого индекса различий отдельно [23]. Интегральные коэффициенты также имеют свои недостатки, связанные с отсутствием ограничения «сверху», а следовательно, трудностями интерпретации, как, например, квадратичный коэффициент относительных структурных сдвигов, который, кроме того, зависит от величины минимальной доли в структуре и несимметричен. Данных недостатков не лишены и современные модификации коэффициентов. Например, модифицированный коэффициент Перстеновой [21], где перестановка местами значений долей в период  $t$  и  $t+1$  приводит к различным значениям коэффициента. Предложенная модификация также похожа на известный коэффициент Салаи, который не умножается на  $1/d_0$ , как предыдущий коэффициент, т. е. не изменяется при перестановках, а зависит от числа разбиений  $1/s$ . Несимметричность также нивелируется, например, в коэффициенте структурных сдвигов Гатева [21], который предложил нормировать квадратический коэффициент. Существует множество других коэффициентов, лишенных указанных недостатков, однако они показывают схожие

результаты, в связи с чем коэффициент Гатева был выбран в качестве репрезентативного для целей настоящего исследования. Дополнительным критерием отбора является еще и сама изучаемая структура энергетических ресурсов. Так, одни из них ограничены в применении для структур с множеством элементов, особенно при наличии большого числа элементов с малой долей в структуре. Так, например, коэффициент Салаи, Перстеновой и прочие, использующие в расчете сумму частных от деления различных соотношений долей, существенно завышают значение показателя за счет деления на малые числа и затем их суммирования, тогда как показатели, построенные на частном от деления суммы соотношений долей, лишены данного недостатка. Отметим, что коэффициент Гатева можно встретить под другим названием – интегральный коэффициент структурных различий<sup>1</sup>, однако в разных источниках под данным названием может иметься в виду и другой коэффициент [18, с. 192].

Таким образом, исходя из обозначенных выше методологических предпосылок далее будет произведена проверка условия позитивной трансформации структуры и оценка изменения структуры энергетических ресурсов России в целом, а также сопоставление с аналогичными показателями для США, Европы и Китая.

#### Оценка структурных изменений ресурсов энергобаланса России: межстрановые сравнения

**П**озитивный исход реструктуризации характеризуется сокращением разности долей невозобновляемых и альтернативных ресурсов в структуре энергетического баланса страны. Таким образом, в принятых ранее обозначениях через  $d_2$  обозначена доля невозобновляемых ресурсов в энерге-

<sup>1</sup> Для интегрального коэффициента структурных различий авторами также приводится шкала, однако интервалы по ней представляются завышенными, что служит аргументом против расчета коэффициента, его сравнения со шкалой и построения выводов на этой основе. См. Зарова Е.В., Чудилин Г.А. Региональная статистика: учебник. М.: Финансы и статистика, 2006. С. 68–75.

тическом балансе – угольных, нефтяных, ядерных и природного газа. Также отдельно представлена доля невозобновляемых источников без учета природного газа –  $d2^*$ . Через  $d1$  обозначена доля альтернативных источников и мусора в энергетическом балансе – солнечная, ветровая, геотермальная, гидроэнергетика, биотопливо, отходы и прочие ресурсы. Переменная  $X$  представляет собой разность долей  $d2$  и  $d1$ , а через  $dX$  обозначено изменение  $X$ , т. е. прирост разности долей невозобновляемых и возобновляемых источников, который, согласно условиям позитивного исхода реструктуризации, должен принимать отрицательные значения:  $dX=(d2-d1)_t - (d2-d1)_{t-1}$ .

На рис. 2 представлена динамика расшифрованных выше долей невозобновляемых ( $d2$ ) и альтернативных ( $d1$ ) источ-

ников в структуре энергетического баланса России по электроэнергии и теплоэнергии. За рассматриваемый период динамика долей невозобновляемых и альтернативных источников в ресурсах электроэнергии имеют форму, приближенную к прямой линии. Схождения или расхождения, которые позволяют охарактеризовать исход реструктуризации, по рисунку не наблюдаются. Доля невозобновляемых источников возросла с 80 % в 2000 г. до 82 % в 2017 г., тогда как альтернативных – сократилась с 18,9 % до 17,3 %. До 2015 г.  $dX$  лежало в положительной области, что означает, что  $d2$  и  $d1$  расходились, однако в 2017 г. намечилась позитивная тенденция в виде сокращения превышения доли невозобновляемых источников над альтернативными на 2,3 %.

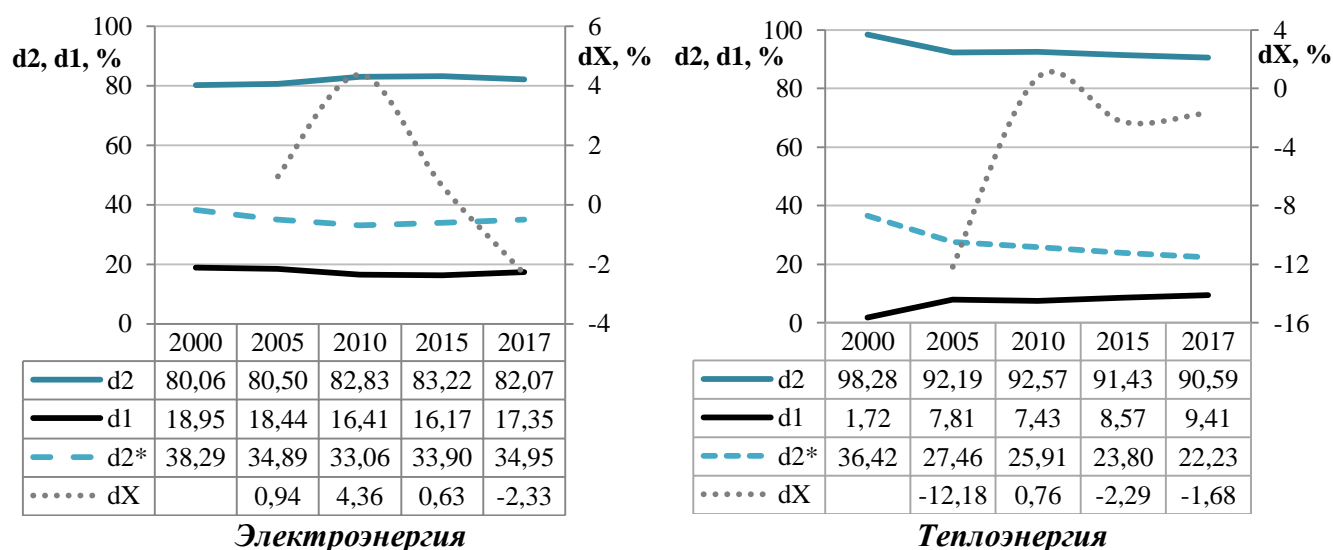


Рис. 2. Динамика доли невозобновляемых ( $d2$ ) и альтернативных ( $d1$ ) ресурсов в структуре энергетического баланса России\*

Fig. 2. Dynamics of the non-renewable ( $d2$ ) and alternative ( $d1$ ) resources shares in the structure of Russia energy balance

\* Рассчитано по источнику: International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/databales?country=RUSSIA&energy=Balances&year=2017> (дата обращения: 20.01.2020).

Ресурсы теплоэнергии показывают более позитивную динамику: доля невозобновляемых источников в структуре ресурсов сократилась с 98,3 % в 2000 г. до 90,6 % в 2017 г. В это время доля альтернативных источников возросла с 1,7 % в 2000 г. до 9,4 % в 2017 г., что обусловило нахождение кривой  $dX$  преимущественно в

отрицательной области, что соответствует условию позитивной реструктуризации. Без учета природного газа ( $d2^*$ ) соответствие данному условию выполняется в более строгом и наглядном виде.

По аналогии с проведенным анализом на рис. 3 представлена динамика долей невозобновляемых и альтернативных ре-

сурсов в структуре энергетического баланса США. Здесь в первую очередь стоит отметить нисходящие кривые  $dX$  как по электроэнергии, так и по теплоэнергии, что означает постоянное сокращение превышения доли невозобновляемых источников над альтернативными. Сходящаяся динамика наблюдается как по электроэнергии, так и по теплоэнергии после 2005 г. Также интересно отметить, что доля альтернативных источников электроэнергии в США и России сравнялась к 2017 г. на уровне 17 %. В России эта доля почти полностью сформирована за счет гидроисточников, однако

в США этот уровень был достигнут с 9,1 % в 2000 г., тогда как в России почти не изменился.

Условие позитивного исхода реструктуризации особенно заметно, если рассматривать  $d2^*$  (без учета природного газа). По электроэнергии наблюдается ускоренная сходимост кривых  $d2^*$  и  $d1$ , тогда как по теплоэнергии данные кривые почти пересеклись, т. е. доли невозобновляемых источников без учета природного газа (12,9 %) и альтернативных источников (12,4 %) практически сравнялись.

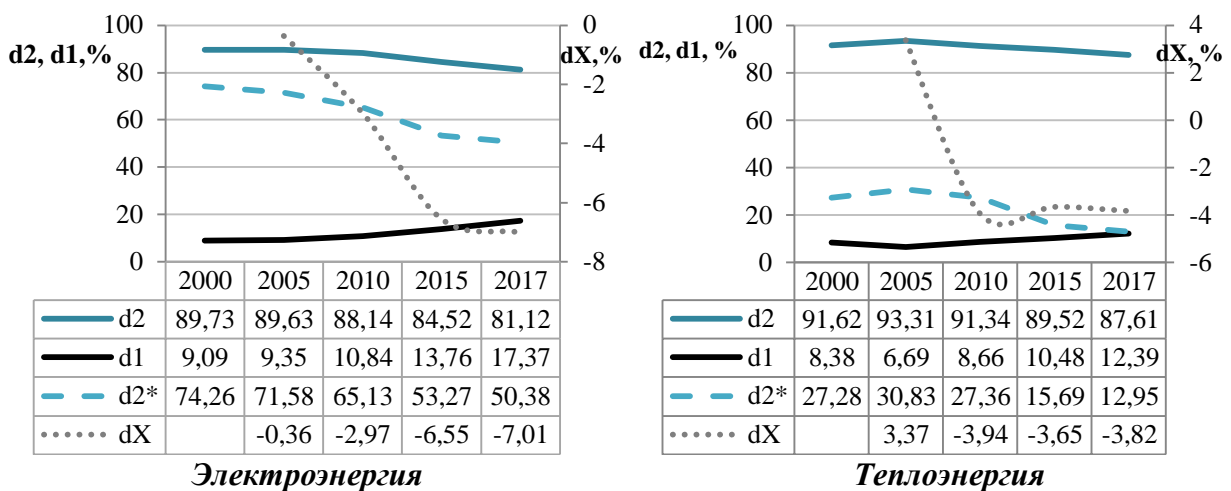


Рис. 3. Динамика доли невозобновляемых ( $d2$ ) и альтернативных ( $d1$ ) ресурсов в структуре энергетического баланса США\*

Fig. 3. Dynamics of the non-renewable ( $d2$ ) and alternative ( $d1$ ) resources shares in the structure of the USA energy balance

\* Рассчитано по источнику: International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tables?country=USA&energy=Balances&year=2017> (дата обращения: 20.01.2020).

Аналогичный график по Европе (28 стран) в наибольшей степени соответствует тому, что иллюстрирует позитивный исход реструктуризации в теории (рис. 4). За рассматриваемый период доля невозобновляемых источников в ресурсах электроэнергии сократилась с 78 % в 2000 г. до 61 % в 2017 г. При этом доля альтернативных источников возросла с 14 до 28 %. По теплоэнергии также наблюдаются существенные структурные изменения: доля невозобновляемых источников сократилась с 87 % в 2000 г. до 66 % в 2017 г., тогда как альтернативных – возросла с 13 до 34 % и превысила долю невозобновляемых без учета природного газа на 3,5 %.

На рис. 4 отражена сходимост кривых  $d2$  и  $d1$ , однако также можно отметить стагнацию этого процесса с 2015 г. Кривая  $dX$  как по электроэнергии, так и по теплоэнергии находится в отрицательной плоскости, однако после 2015 г. происходит замедление темпов сокращения разрыва между  $d2$  и  $d1$ , что отразилось в перегибе кривой  $dX$ , принявшей форму параболы.

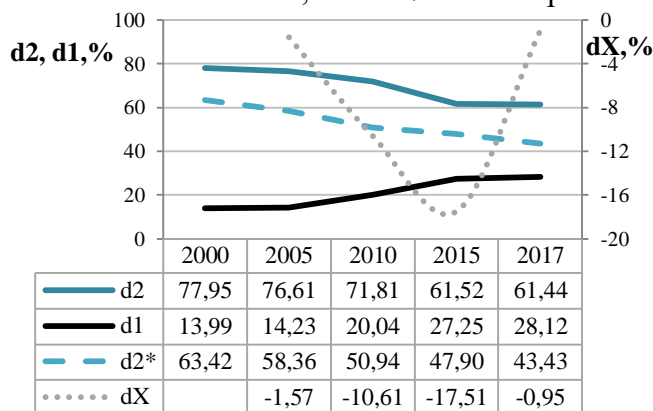
Похожий сходящийся график по ресурсам электроэнергии можно увидеть и в Китае (рис. 5). Однако здесь исключение природного газа почти не меняет сформировавшегося тренда в отличие от других стран. Согласно рисунку 5 доля природного газа в ресурсах электроэнергии возросла с 1,3 % в



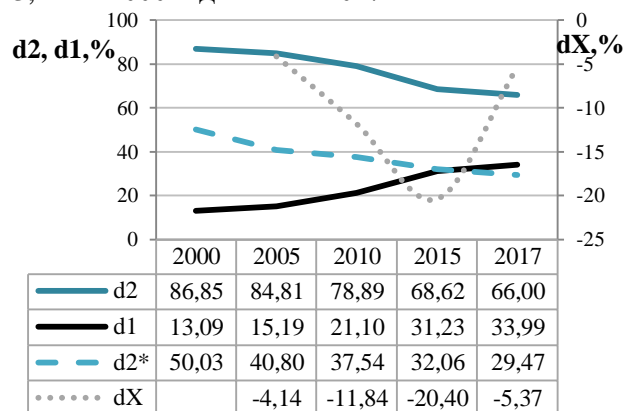
2000 г. до 2,9 % в 2017 г. При этом, забегая вперед, можно сказать, что соответствующая условию позитивного исхода реструктуризации динамика достигнута за счет снижения доли угля с 77 % в 2000 г. до 67 % в 2017 г. и роста доли альтернативных источников с 0,2 % в 2000 г. до 7,8 % в 2017 г. преимущественно за счет энергии солнца и ветра.

Стоит подчеркнуть, что теплоэнергия в Китае почти на 100 % обеспечивается за счет ископаемых источников, и за 17-летнюю ре-

троспективу мало что изменилось в этой области. В то же время некоторую позитивную динамику можно проследить при исключении из  $d2$  природного газа ( $d2^*$ ). За рассматриваемый период в Китае произошло замещение нефтяных ресурсов теплоэнергии природным газом в соответствии с мировыми тенденциями. Доля нефтепродуктов в ресурсах теплоэнергии сократилась с 10,2 % в 2000 г. до 3,3 % в 2017 г. Тогда как доля природного газа возросла с 3,1 % в 2000 г. до 11 % в 2017 г.



Электроэнергия

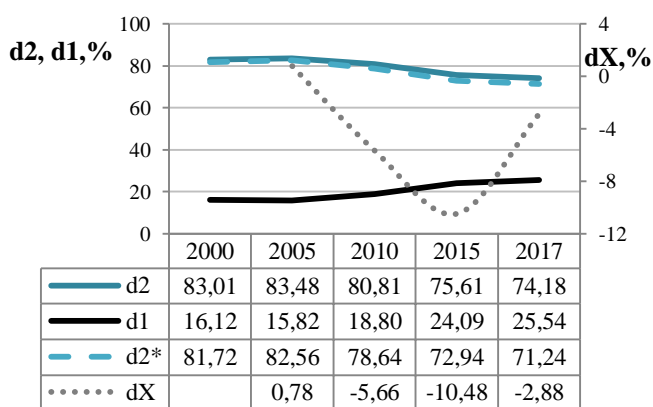


Теплоэнергия

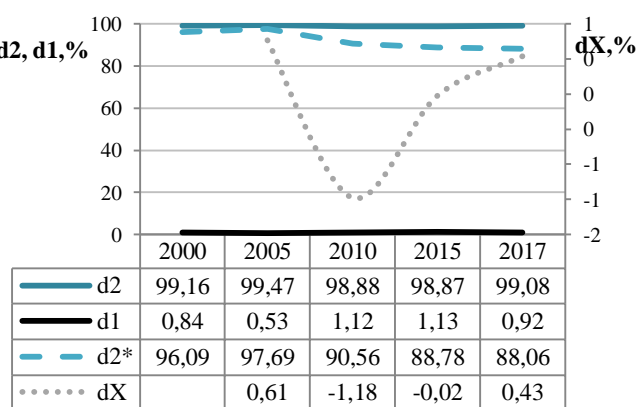
Рис. 4. Динамика доли невозобновляемых ( $d2$ ) и альтернативных ( $d1$ ) ресурсов в структуре энергетического баланса Европы\*

Fig. 4. Dynamics of the non-renewable ( $d2$ ) and alternative ( $d1$ ) resources shares in the structure of Europe energy balance

\* Рассчитано по источнику: *International Energy Agency*. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tables?country=EU28&energy=Balances&year=2017> (дата обращения: 07.02.2020).



Электроэнергия



Теплоэнергия

Рис. 5. Динамика доли невозобновляемых ( $d2$ ) и альтернативных ( $d1$ ) ресурсов в структуре энергетического баланса Китая\*

Fig. 5. Dynamics of the non-renewable ( $d2$ ) and alternative ( $d1$ ) resources shares in the structure of China energy balance

\* Рассчитано авторами по источнику: *International Energy Agency*. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tables?country=CHINAREG&energy=Balances&year=2017> (дата обращения: 07.02.2020).

Проверка выполнения условия позитивного исхода реструктуризации на данном этапе исследования позволяет сформировать содержательное представление о произошедших изменениях. Однако соответствие условию и рассмотрение

динамики показателей необходимо дополнить анализом коэффициента Гатева, который позволяет охарактеризовать структурные изменения удельных весов элементов совокупности.

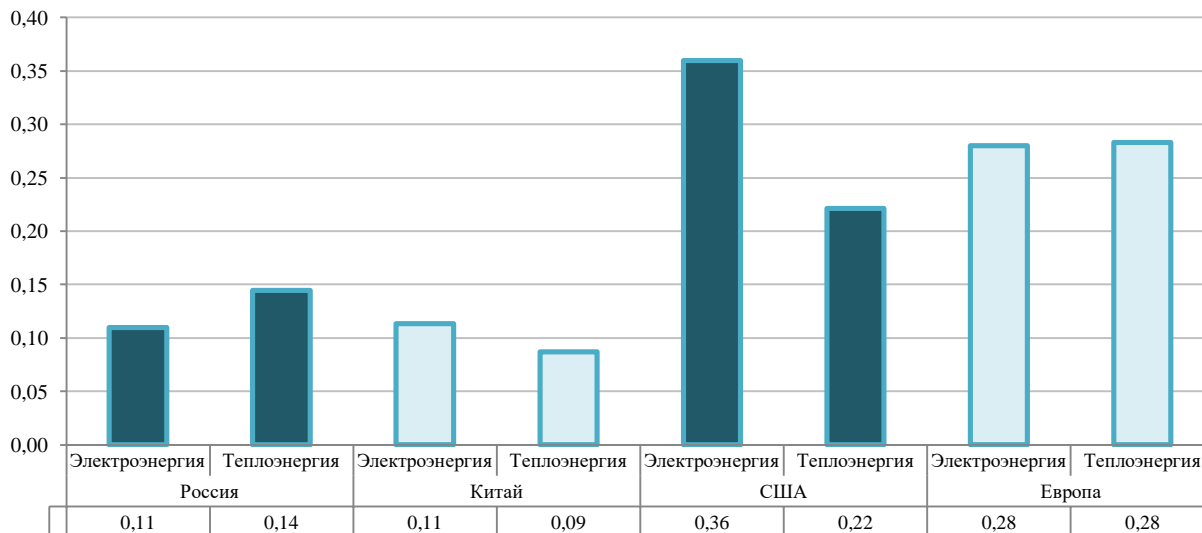


Рис. 6. Интегральный коэффициент структурных сдвигов Гатева (2017 г. к 2000 г.)\*

Fig. 6. Integral coefficient of Gatev structural shifts (2017 vs 2000)

\* Рассчитано по источнику: *International Energy Agency*. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tables?country=WORLD&energy=Balances&year=2017> (дата обращения: 07.02.2020).

Согласно рис. 6 за рассматриваемый период коэффициенты структурных сдвигов выступают индикаторами весьма низких изменений структуры энергоресурсов в России и Китае. Наибольшим изменениям из рассматриваемых территорий подвергся баланс ресурсов электроэнергии США, для которого коэффициент Гатева находится на уровне 0,36 при максимально возможном значении, равном единице, что содержательно является индикатором полностью противоположной структуры энергетического баланса. Значительные изменения произошли в структуре энергоресурсов в Европе (28 стран), где была перестроена треть структуры энергоресурсов.

Реструктуризация баланса энерго- и теплоресурсов в России происходит крайне низкими темпами. Если сравнить структуру энергоресурсов почти за тридцать лет (рассчитываем аналогичный коэффициент 1990 г. к 2017 г.), то коэффициент составит 0,18 и 0,16 по энерго- и теплоресурсам соответственно, что существенно меньше

аналогичных показателей Европы и США за рассматриваемый период. Кроме того, в США за последние семь рассматриваемых лет (2010 к 2017 г.) значение коэффициента составило 0,22 и 0,17 по энерго- и теплоресурсам соответственно, что превышает показатели изменения структуры российского баланса за тридцать лет. При этом в Китае, где также отмечаются низкие коэффициенты структурных сдвигов, как видно из дальнейших расчетов (табл. 4), аналогичные показатели достигаются за счет наращивания ресурсов одновременно по множеству элементов структуры, преобладающим источником по-прежнему остается уголь, однако также интенсивно развиваются возобновляемые источники.

Вместе с тем проведенные расчеты не позволяют оценить структурные сдвиги в энергоресурсах России с точки зрения качественных изменений. Получив общую оценку структурных изменений, необходимо рассмотреть, за счет каких элементов она была достигнута (табл. 1).

Таблица 1. Показатели структурных изменений по укрупненным статьям баланса энергоресурсов и использования энергии в России (2017 к 2000 г.)\*

Table 1. Indicators of structural changes in larger energy resource balance items and energy use in Russia (2017 vs 2000)

Вид ресурса и направление использования	Масса структурного сдвига, %		Индекс структурного сдвига		Относительный показатель сдвига		Абсолютный прирост		Темп прироста, %	
	Электро-	Тепло-	Электро-	Тепло-	Электро-	Тепло-	Электро-	Тепло-	Электро-	Тепло-
Уголь	-3,95	-8,90	-0,20	-0,32	0,80	0,68	-1047	-795245	-0,60	-44,34
Нефтепродукты	-3,10	-5,33	-0,83	-0,62	0,17	0,38	-26115	-383293	-78,92	-69,13
Природный газ	5,34	6,50	0,13	0,11	1,13	1,11	148288	-372600	40,04	-9,29
Ядерная и гидро	2,06	0,05	0,06	0,20	1,06	1,20	94184	-212	31,81	-1,43
Другие	0,05	7,69	0,18	4,48	1,18	5,48	1213	389699	46,69	349,61
Импорт	-0,41	0,00	-0,41	-	0,59	-	-2385	0	-27,12	-
Экспорт	-1,03	0,00	-0,40	-	0,60	-	5843	0	-25,57	-
Внутреннее потребление	2,10	2,45	0,12	0,37	1,12	1,37	60245	52548	39,24	12,08
Потери	-1,90	2,39	-0,17	0,48	0,83	1,48	3620	69422	3,56	21,40
Конечное потребление	-1,16	-7,53	-0,02	-0,09	0,98	0,91	152359	-1283622	25,04	-22,41

\* Рассчитано по источнику: *International Energy Agency*. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tables?country=RUSSIA&energy=Balances&year=2017> (дата обращения: 07.02.2020).

Согласно показателю массы структурного сдвига почти за 20 лет ни один из элементов в структуре ресурсов и использования электроэнергии не изменился более чем на 5 % без учета знака (по структуре ресурсов изменение в среднем составило около 2,5 % без учета знака, а по структуре использования на 1,5 %). По теплоэнергии изменения более заметны: доля элементов в структуре ресурсов изменилась в среднем на 5,7 %, максимально на минус 8,9 % по углю, тогда как в структуре использования – в среднем на 4,1 % без учета знака. Так, в целом в структуре энергоресурсов можно отметить сокращение доли угля и нефтепродуктов, рост доли ядерной и гидроэнергии, а также прочих источников, доля которых, однако, остается на низком уровне.

Анализируя основные показатели изменения уровня ряда, можно отметить существенное сокращение электроэнергии и теплоэнергии, получаемой за счет нефтепродуктов на 78,9 % и 69,1 % соответственно, что является закономерным в связи с неэффективным использованием этого источника для данных целей; рост использования для получения электроэнергии более дешевого природного газа, а также со-

кращение теплоэнергии, получаемой за счет угля на 44,34 %. Наблюдается также существенный рост альтернативных источников энергии: на 46 % по электроэнергии и в 4,5 раза по теплоэнергии, однако в структуре ресурсов доля данного элемента выросла с 1,7 % до 9,4 %. При этом не представляется возможным определить, за счет каких именно источников получен данный прирост, так как из этих 9,4 % не специфицированы 7,3 % (обозначены как «другие ресурсы»). В это время в США использование альтернативных источников по электроэнергии возросло в 4,7 раза, а по теплоэнергии – в 2 раза (табл. 2).

Детализировав структуру альтернативных источников, можно увидеть, что энергия ветра в 2000 г. в США обеспечивала 0,1 % ресурсов электроэнергии, тогда как в 2017 г. 5,9 %. Солнечная энергия в 2000 г. обеспечивала 0,004 %, а в 2017 – 1,6 %, доля энергии воды возросла с 6,8 % до 7,8 %. По соответствующим статьям в России энергия ветра в 2000 г. составляла 0,0002 % ресурсов электроэнергии, тогда как в 2017 г. – 0,01 %, солнечные батареи в 2000 г. обеспечивали 0 %, а в 2017 – 0,05 %, доля энергии воды сократилась на 1,7 %.

Таблица 2. Показатели структурных изменений по укрупненным статьям баланса энергоресурсов и использования энергии в США (2017 к 2000 г.)\*  
Table 2. Indicators of structural changes in larger energy resource balance items and energy use in the USA (2017 vs 2000)

Вид ресурса и направление использования	Масса структурного сдвига, %		Индекс структурного сдвига		Относительный показатель сдвига		Абсолютный прирост		Темп прироста, %	
	Электро-	Тепло-	Электро-	Тепло-	Электро-	Тепло-	Электро-	Тепло-	Электро-	Тепло-
Уголь	-21,56	-19,14	-0,42	-0,76	0,58	0,24	-808077	-54310	-37,95	-66,58
Нефтепродукты	-2,14	4,81	-0,74	2,31	0,26	3,31	-86070	24317	-72,64	360,41
Природный газ	15,27	10,31	0,99	0,16	1,99	1,16	703413	127847	110,90	61,36
Ядерная и гидро	0,47	0,00	0,02	-	1,02	-	86271	0	8,01	-
Другие	7,64	4,02	3,38	0,48	4,38	1,48	338224	28696	364,89	105,82
Импорт	0,32	0,00	0,27	-	1,27	-	17093	0	35,18	-
Экспорт	-0,14	0,00	-0,40	-	0,60	-	5307	0	-36,16	-
Внутреннее потребление	-0,45	16,84	-0,05	1,01	0,95	2,01	2519	96970	0,70	179,38
Потери	0,02	-3,03	0,00	-0,20	1,00	0,80	14988	5326	6,54	10,97
Конечное потребление	0,68	-13,66	0,01	-0,20	1,01	0,80	238654	24255	6,82	10,97

\* Рассчитано по источнику: *International Energy Agency*. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tables?country=USA&energy=Balances&year=2017> (дата обращения: 20.02.2020).

В Европе темп прироста альтернативных источников за рассматриваемый период составил 837 % и 195,2 % по электроэнергии и теплоэнергии соответственно. В структуре ресурсов в 2000 г. альтернативные источники обеспечивали 2,3 % и 13,1 % по электроэнергии и теплоэнергии

соответственно, тогда как в 2017 г. уже 19,1 % и 34 % (разность приведенных долей отражена в массе структурного сдвига (табл. 3), который составил 16,8 % и 20,9 % по электроэнергии и теплоэнергии соответственно).

Таблица 3. Показатели структурных изменений по укрупненным статьям баланса энергоресурсов и использования энергии в Европе (28 стран, 2017 к 2000 г.)\*  
Table 3. Indicators of structural changes in larger energy resource balance items and energy use in Europe (28 countries, 2017 vs 2000)

Вид ресурса и направление использования	Масса структурного сдвига, %		Индекс структурного сдвига		Относительный показатель сдвига		Абсолютный прирост		Темп прироста, %	
	Электро-	Тепло-	Электро-	Тепло-	Электро-	Тепло-	Электро-	Тепло-	Электро-	Тепло-
Уголь	-10,05	-13,18	-0,34	-0,34	0,66	0,66	-258186	-212401	-26,68	-25,20
Нефтепродукты	-3,84	-7,42	-0,70	-0,65	0,30	0,35	-120636	-150461	-66,54	-60,54
Природный газ	3,48	-0,29	0,24	-0,01	1,24	0,99	183752	103033	38,32	12,79
Ядерная и гидро	-8,82	0,04	-0,22	0,24	0,78	1,24	-170843	1328	-12,83	41,49
Другие	16,85	20,90	7,40	1,60	8,40	2,60	629363	558857	836,96	195,16
Импорт	2,38	0,00	0,30	-	1,30	-	118636	116	44,58	80,56
Экспорт	2,80	0,00	0,38	-0,35	1,38	0,65	-131458	75	54,08	-26,50
Внутреннее потребление	-1,58	2,71	-0,17	0,49	0,83	1,49	-22390	83703	-7,22	69,74
Потери	-0,97	1,71	-0,15	0,24	0,85	1,24	-10794	63558	-4,97	41,39
Конечное потребление	-0,46	-1,85	-0,01	-0,02	0,99	0,98	271773	133760	10,76	7,05

\* Рассчитано по источнику: *International Energy Agency*. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tables?country=EU28&energy=Balances&year=2017> (дата обращения: 20.02.2020).

Анализ структуры прочих ресурсов показывает, что в Европе с 2000 по 2017 гг. доля биотоплива возросла с 0,8 % до 4,4 % по электроэнергии и с 6,4 % до 19,8 % по теплоэнергии. Доля отходов в ресурсах электроэнергии увеличилась с 0,6 % до 1,3 %, а теплоэнергии – с 4,5 % до 10,1 %. Энергия солнечных батарей составляла 0,00003 %, тогда как в 2017 г. обеспечила 3,1 % ресурсов электроэнергии.

В контексте мировых трендов по сокращению использования энергии, получаемой из угля и нефтепродуктов, росту использования природного газа и развитию альтернативных источников энергии особо интересен опыт Китая, экономика которого в последнее десятилетие развивалась ускоренными темпами, в результате чего страна стала мировым лидером в производстве и, соответственно, потреблении энергии (табл. 4).

Таблица 4. Показатели структурных изменений по укрупненным статьям баланса энергоресурсов и использования энергии в Китае (2017 к 2000 г.)\*  
Table 4. Indicators of structural changes in larger energy resource balance items and energy use in China (2017 vs 2000)

Вид ресурса и направление использования	Масса структурного сдвига, %		Индекс структурного сдвига		Относительный показатель сдвига		Абсолютный прирост		Темп прироста, %	
	Электро-	Тепло-	Электро-	Тепло-	Электро-	Тепло-	Электро-	Тепло-	Электро-	Тепло-
Уголь	-9,75	-1,15	-0,13	-0,01	0,87	0,99	3429258	2482414	317,73	197,69
Нефтепродукты	-3,24	-6,88	-0,95	-0,68	0,05	0,32	-37143	-3829	-78,33	-2,58
Природный газ	1,65	7,95	1,28	2,59	2,28	3,59	178387	441152	990,32	981,73
Ядерная и гидро	4,40	0,00	0,26	-	1,26	-	1198759	0	501,26	-
Другие	7,53	0,08	33,18	0,09	34,18	1,09	515598	28144	16244,42	230,24
Импорт	-0,56	0,00	-0,66	-	0,34	-	7250	0	61,70	-
Экспорт	-0,48	0,00	-0,61	-	0,39	-	-9752	0	88,18	-
Внутреннее потребление	-4,21	-13,69	-0,27	-0,53	0,73	0,47	541116	155020	248,65	41,22
Потери	-2,18	-0,11	-0,31	-0,09	0,69	0,91	223605	30555	228,82	173,41
Конечное потребление	2,90	6,31	0,04	0,09	1,04	1,09	4508194	2940452	420,19	275,41

\* Рассчитано по источнику: *International Energy Agency*. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tables?country=CHINAREG&energy=Balances&year=2017> (дата обращения: 20.02.2020).

По данным табл. 4 видно, что ускоренный рост экономики Китая легко обнаруживает себя в ее энергетическом балансе: за рассматриваемый период потребление основного ресурса в производстве энергии – угля – возросло в 4,2 раза для электроэнергии и в 2,97 раза для теплоэнергии. Таким образом, в 2017 г. производство электроэнергии по данному ресурсу в 2,1 раза превысило российский, европейский и американский показатели вместе взятые, а по теплоэнергии – в 1,8 раза. Уголь по-прежнему является основным источником энергии для экономики Китая (67,4 % ресурсов электроэнергии и 84,8 % ресурсов теплоэнергии), однако, несмотря на почти семикратное увеличение получаемых из него электричества и тепла, его

доля в структуре энергоресурсов сократилась за рассматриваемый период. В соответствии с показателем массы структурного сдвига доля угля в ресурсах электроэнергии сократилась на 9,8 %, а теплоэнергии – на 1,2 %.

В это время производимая за счет альтернативных источников электроэнергия возросла в 163 раза. Относительно изменения структуры доля «других» источников в производстве электроэнергии возросла на 7,5 %: доля биотоплива возросла с 0,2 % в 2000 г. до 1,2 % в 2017 г., доля отходов с 0 % до 0,2 %, тогда как в ресурсах теплоэнергии до 0,7 %, доля солнечных батарей с нуля до 2 %, ветра – с 0,04 % до 4,4 %. Кроме того, на 2 % возросли доли ядерных и гидроисточников.



## Заключение

Несмотря на достаточно консервативную позицию Международного энергетического агентства, ее исполнительный директор Ф. Бироль призывает активно развивать «чистую» энергетику как основу мер борьбы с кризисом, вызванным коронавирусом<sup>1</sup>. По его мнению, в текущих условиях, несмотря на эпидемиологическую ситуацию и нестабильность на мировых рынках, сосредоточиться на этом не только необходимо, но и экономически выгодно. Сейчас стоимость ключевых возобновляемых технологий, таких как солнечная энергия и энергия ветра, намного ниже, чем в предыдущие периоды, технологии более развиты, а инвестиционные ресурсы дешевле на фоне общего снижения ставок. При этом требуется активная поддержка государств, которые могут сделать «чистую» энергию еще более привлекательной для частных инвесторов, предоставляя гарантии и контракты, минимизирующие финансовые риски в условиях высокой неопределенности, являясь при этом единственным сценарием перехода к концепции «устойчивого развития» как для развитых, так и для развивающихся стран [24; 25]. К лидерам в развитии ВИЭ присоединились Китай, Бразилия и Индия несмотря на то, что на территории последней находятся 22 из 30 самых загрязненных городов мира, а новость о том, что из-за улучшения качества воздуха вследствие введенного карантина жители штата Пенджаб впервые за 30 лет снова увидели Гималаи, стала сенсацией во всех мировых СМИ<sup>2</sup>.

В то время как в Энергетической стратегии России по-прежнему имеется ряд противоречий, особую актуальность приобретает операционализация «желае-

мого» вектора развития энергетической отрасли России и показателей для оценки его достижения. В связи с этим на основе методики оценки структурных изменений О.С. Сухарева была произведена спецификация условия позитивного исхода реструктуризации энергетической отрасли РФ как сокращения разности долей невозобновляемых и альтернативных ресурсов в структуре энергетического баланса страны и проведен ее анализ в сравнении с данными США, Европы и Китая. На основе данных Международного энергетического агентства произведена количественная оценка общего эффекта изменения структуры энергетического баланса анализируемых стран, которая дополнена расчетом коэффициентов структурных различий. Совершенствование комплексной методики анализа структурных сдвигов в национальной экономике за счет включения в анализ показателей и коэффициентов структурных изменений, а также уточнение условия позитивного исхода позволили обеспечить применение методики О.С. Сухарева к исследованию структурных изменений на отраслевом уровне.

Количественная оценка показала, что реструктуризация баланса энерго- и теплоресурсов в России происходит крайне низкими темпами. Так, например, в США показатели изменения структуры за семь лет (2010 к 2017 г.) превышают аналогичные по российскому балансу за тридцать лет. При этом в Китае, где также отмечаются низкие коэффициенты структурных сдвигов, несмотря на резкий прирост используемого угля в абсолютном выражении, в структуре ресурсов электроэнергии Китая доля угля сократилась на 10 %, тогда как доля других источников – ветра, солнца и пр. – в структуре возросла на 7,5 %, а темп роста показал увеличение в 163 раза. По данным *S&P Global Platts* сокращение потребления энергии в Китае даже на 1 % обеспечит снижение выбросов углекислого газа на 96 млн т, что соответствует ежегодным выбросам экономики Франции. Тем не менее даже в Китае сокращение генерируемой энергии в текущий кризис производится преимуществен-

<sup>1</sup> Put clean energy at the heart of stimulus plans to counter the coronavirus crisis. International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/commentaries/put-clean-energy-at-the-heart-of-stimulus-plans-to-counter-the-coronavirus-crisis> (дата обращения: 15.03.2020).

<sup>2</sup> The Himalayas are visible from India for the first time in 30 years because of Covid-19 lockdown. Esquire. URL: <https://www.esquire.com/content/45334-the-himalayas-are-visible-from-india-for-the-first-time-in-30-years-because-of-covid-19-lockdown> (дата обращения: 30.04.2020).

но за счет ископаемых источников. В январе – феврале 2020 г. ветровая генерация осталась почти на прежнем уровне (минус 0,2 %), тогда как солнечная возросла на 12 % на фоне стремительного сокращения доли ископаемых источников. В марте доли ядерной, ветровой и солнечной энергии в энергетическом балансе возросли на 6,9; 18,1 и 8,6 % соответственно<sup>1</sup>.

Таким образом, проведенный анализ показал, что в условиях российской действительности не сформировались тенденции ускоренного энергетического перехода, отсутствует четко определенный вектор увеличения доли возобновляемых источников и целевые показатели, долгосрочные сценарии строятся из предпо-

лок сохранения ресурсно-сырьевого уклада мировой экономики, тогда как развитые страны исходят из предпосылок устойчивых преимуществ, которые связаны с внедрением зеленых технологий.

На основе полученных результатов представляется перспективным построение прогнозной модели динамики структуры энергетического баланса России, разработка механизмов стимулирования использования альтернативных ресурсов и сокращения невозобновляемых источников энергии, а также формирование предложений по актуализации целей Энергетической стратегии России до 2035 г. с учетом кризиса 2020 г., обусловленного эпидемией коронавирусной инфекции.

#### Благодарность

Работа выполнена по государственному заданию ОНЦ СО РАН в соответствии с Программой ФНИ ГАН на 2013–2020 гг. (№ гос. рег. АААА-А17-117041210229-2).

#### Список литературы

1. Wu X., Nethery R., Sabath M.B., Braun D., Dominici F. Exposure to air pollution and COVID-19 mortality in the United States: A nationwide cross-sectional study. MedRxiv: The preprint server for health sciences, 2020. 36 p. doi: 10.1101/2020.04.05.20054502.
2. Chenery H.B. Structural change and development policy. Oxford: Oxford University Press for the World Bank, 1979. 528 p.
3. Fagerberg J. Technological progress, structural change and productivity growth: A comparative study // Structural Change and Economic Dynamics. 2000. Vol. 11, № 4. P. 393–411. doi: 10.1016/S0954-349X(00)00025-4.
4. Rodrik D. Structural change, fundamentals, and growth: An overview. Institute for Advanced Study, 2013. 23 p.
5. Шелегеда Б.Г., Шарнопольская О.Н., Погоржельская Н.В. Методологические подходы к исследованию структурных трансформаций в развитии экономических систем // Вестник ПГУ. Серия: Экономика. 2017. № 2. С. 172–188. doi: 10.17072/1994-9960-2017-2-172-188.
6. Сухарев О.С. К разработке комплексной методики анализа структурных сдвигов в национальной экономике // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2013. № 13 (202). С. 56–64.
7. Буторина О.В. Анализ структурных изменений в экономике региона // Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки. 2016. № 4. С. 194–208.
8. Сухарев О.С. Структурный анализ экономики. М.: Финансы и статистика, 2012. 216 с.
9. Сухарев О.С., Малявина А.В. Структурные изменения и методы их исследования в экономической теории // Журнал экономической теории. 2008. № 2. С. 122–139.
10. Тутов В.А. Методологические подходы к анализу структурных преобразований экономики // Транспортное дело России. 2006. № 12-IV. С. 45–47.
11. Breisinger C., Diao X. Economic transformation in theory and practice: What are the messages for Africa? // IFPRI discussion papers 797, International Food Policy Research Institute. URL: <https://www.ifpri.org/publication/economic-transformation-theory-and-practice-what-are-messages-africa> (дата обращения: 21.04.2020).

<sup>1</sup> Energy production in March of 2020. National Bureau of Statistics of China (NBS). URL: [http://www.stats.gov.cn/english/PressRelease/202004/t20200420\\_1739767.html](http://www.stats.gov.cn/english/PressRelease/202004/t20200420_1739767.html) (дата обращения: 25.04.2020).

12. Lewis W.A. The dual economy revisited // The Manchester School of Economics and Social Studies. 1979. Vol. 47. P. 211–229. doi: 10.1111/j.1467-9957.1979.tb00625.x.
13. *Прогноз развития энергетики мира и России 2019* / под ред. А.А. Макарова, Т.А. Митровой, В.А. Кулагина; ИНЭИ РАН – Московская школа управления «Сколково». М., 2019. 210 с.
14. Bayer P., Akin M. The European Union Emissions Trading System reduced CO<sub>2</sub> emissions despite low prices // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2020. Vol. 117 (16). P. 8804–8812. doi: 10.1073/pnas.1918128117.
15. Бьковский В.К. Международно-правовое регулирование борьбы с глобальным потеплением и подходы России и стран СНГ к ратификации Парижского соглашения об изменении климата от 12.12.2015 // Международное сотрудничество евразийских государств: политика, экономика, право. 2017. № 1 (10). С. 100–108.
16. Сухарев О.С. Экономическая стратегия индустриализации: анализ, эмпирика, рекомендации // Экономический анализ: теория и практика. 2015. № 25 (424). С. 2–19.
17. Казинец Л.С. Темпы роста и структурные сдвиги в экономике (Показатели планирования и статистики). М.: Экономика, 1981. 184 с.
18. Шмидт Ю.И. Показатели оценки структурных сдвигов в аграрном секторе экономики // Альманах современной науки и образования. Тамбов: Грамота. 2013. № 6 (73). С. 190–193.
19. Ковалева Т.Ю. Статистические показатели в анализе структуры социально-экономической системы // Международный научный журнал «Инновационная наука». 2015. № 4-1. С. 63–71.
20. Шевченко И.К., Развадовская Ю.В. Методы анализа структурных преобразований экономики промышленного сектора в условиях становления нового технологического уклада // Государственное и муниципальное управление. Ученые записки СКАГС. 2012. № 2. С. 111–119.
21. Перстенева Н.П. Критерии классификации показателей структурных различий и сдвигов // Фундаментальные исследования. 2012. № 3-2. С. 478–482.
22. Перстенева Н.П. Методология статистического исследования структурно-динамических изменений (на примере экономики Самарской области): дисс. ... канд. экон. наук. Самара, 2003. 141 с.
23. Красильников О.Ю. Структурные сдвиги в экономике. Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 2001. 164 с.
24. Jung T.Y., La Rovere E.L., Gaj H., Shukla P.R., Zhou D. Structural changes in developing countries and their implication for energy-related CO<sub>2</sub> emissions // Technological forecasting and social change. 2000. Vol. 63, Iss. 2-3. P. 111–136. doi: 10.1016/S0040-1625(99)00052-9.
25. Rauf A., Zhang J., Li J., Amin W. Structural changes, energy consumption and carbon emissions in China: Empirical evidence from ARDL bound testing model // Structural Change and Economic Dynamics. 2018. Vol. 47. P. 194–206. doi: 10.1016/j.strueco.2018.08.010.

Статья поступила в редакцию 22.05.2020, принята к печати 17.10.2020

#### Сведения об авторах

Карпов Валерий Васильевич – доктор экономических наук, профессор, Омский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук (Россия, 644024, г. Омск, Карла Маркса пр-т, 15; e-mail: adm@oscsbras.ru).

Чупин Роман Игоревич – кандидат социологических наук, научный сотрудник, Омский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук (Россия, 644024, г. Омск, Карла Маркса пр-т, 15; e-mail: roman-chupin@ya.ru).

Харламова Мария Сергеевна – ведущий инженер, Омский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук (Россия, 644024, г. Омск, Карла Маркса пр-т, 15; e-mail: hms2020@mail.ru).

#### Acknowledgements

The study was carried out according to the state assignment in 2013-2020 (state No. Reg. AAAA-A17-117041210229-2).

## References

1. Wu X., Nethery R., Sabath M.B., Braun D., Dominici F. Exposure to air pollution and COVID-19 mortality in the United States: A nationwide cross-sectional study. *MedRxiv, The preprint server for health sciences*, 2020. 36 p. doi: 10.1101/2020.04.05.20054502.
2. Chenery H.B. *Structural change and development policy*. Oxford, Oxford University Press for the World Bank, 1979. 528 p.
3. Fagerberg J. Technological progress, structural change and productivity growth: A comparative study. *Structural Change and Economic Dynamics*, 2000, vol. 11, iss. 4, pp. 393–411. doi: 10.1016/S0954-349X(00)00025-4.
4. Rodrik D. *Structural change, fundamentals, and growth: An overview*. Institute for Advanced Study, 2013. 23 p.
5. Shelegeda B.G., Sharnopol'skaya O.N., Pogorzhel'skaya N.V. Metodologicheskie podkhody k issledovaniyu strukturnykh transformatsii v razvitiie ekonomicheskikh sistem [Methodological approaches to the study of structural transformation in the development of economic systems]. *Vestnik PGU. Seriya: Ekonomika* [Perm University Herald. Economy], 2017, no. 2, pp. 172–188. (In Russian). doi: 10.17072/1994-9960-2017-2-172-188.
6. Sukharev O.S. K razrabotke kompleksnoi metodiki analiza strukturnykh sdvigo v natsional'noi ekonomike [Development of comprehensive analysis methodology for structural shifts in the national economy]. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost'* [National Interests: Priorities and Security], 2013, no. 13 (202), pp. 56–64. (In Russian).
7. Butorina O.V. Analiz strukturnykh izmenenii v ekonomike regiona [On structural changes analysis in the economy of the region]. *Vestnik PNIPU. Sotsial'no-ekonomicheskie nauki* [PRNPU Sociology and Economics Bulletin], 2016, no. 4, pp. 194–208. (In Russian).
8. Sukharev O.S. *Strukturnyi analiz ekonomiki* [Structural analysis of economy]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2012. 216 p. (In Russian).
9. Sukharev O.S., Malyavina A.V. Strukturnye izmeneniya i metody ikh issledovaniya v ekonomicheskoi teorii [Structural dynamics and the methods of its measurement]. *Zhurnal ekonomicheskoi teorii* [Russian Journal of Economic Theory], 2008, no. 2, pp. 122–139. (In Russian).
10. Titov V.A. Metodologicheskie podkhody k analizu strukturnykh preobrazovaniie ekonomiki [Methodological approaches to the analysis of economy structural transformations]. *Transportnoe delo Rossii* [Transport Business in Russia], 2006, no. 12-IV, pp. 45–47. (In Russian).
11. Breisinger C., Diao X. Economic transformation in theory and practice: What are the messages for Africa? *IFPRI discussion papers 797*, International Food Policy Research Institute. Available at: <https://www.ifpri.org/publication/economic-transformation-theory-and-practice-what-are-messages-africa> (accessed 21.04.2020).
12. Lewis W.A. The dual economy revisited. *The Manchester School of Economics and Social Studies*, 1979, vol. 47, pp. 211–229. doi: 10.1111/j.1467-9957.1979.tb00625.x.
13. *Prognoz razvitiya energetiki mira i Rossii 2019*. Pod red. A.A. Makarova, T.A. Mitrovoi, V.A. Kulagina [2019 World and Russia energy development forecast. Ed. by A.A. Makarov, T.A. Mitrova, V.A. Kulagin]. INEI RAN – Moskovskaya shkola upravleniya «Skolkovo» Publ., Moscow, 2019. 210 p. (In Russian).
14. Bayer P, Aklin M. The European Union Emissions Trading System reduced CO<sub>2</sub> emissions despite low prices. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2020, vol. 117 (16), pp. 8804–8812. doi: 10.1073/pnas.1918128117.
15. Bykovskii V.K. Mezhdunarodno-pravovoe regulirovanie bor'by s global'nym potepnieniem i podkhody Rossii i stran SNG k ratifikatsii Parizhskogo soglasheniya ob izmenenii klimata ot 12.12.2015 g [International legal regulation of combating global warming and the approaches of Russia and CIS countries to ratify the Paris agreement on climate change from G. 12.12.2015]. *Mezhdunarodnoe sotrudnichestvo evraziiskikh gosudarstv: politika, ekonomika, pravo* [International Cooperation of Eurasian States: Politics, Economy, Law], 2017, no. 1 (10), pp. 100–108. (In Russian).
16. Sukharev O.S. Ekonomicheskaya strategiia industrializatsii: analiz, empirika, rekomendatsii [Economic strategy of industrialization: Analysis, empiricism, recommendations]. *Ekonomicheskii analiz: teoriia i praktika* [Economic Analysis: Theory and Practice], 2015, no. 25 (424), pp. 2–19. (In Russian).
17. Kazinets L.S. *Tempy rosta i strukturnye sdvigi v ekonomike (Pokazateli planirovaniya i statistiki)* [Growth and structural changes in economy (Performance Planning and Review)]. Moscow, Ekonomika Publ., 1981. 184 p. (In Russian).



18. Shmidt Yu.I. Pokazateli otsenki strukturnykh sdvigo v agrarnom sektore ekonomiki [Indicators for the structural shifts assessment in agriculture]. *Al'manakh sovremennoi nauki i obrazovaniya* [Almanac of Modern Science and Education], Tambov, Gramota publishers, 2013, no. 6 (73), pp. 190–193. (In Russian).
19. Kovaleva T.Yu. Statisticheskie pokazateli v analize struktury sotsial'no-ekonomicheskoi sistemy [Statistical indicators in the analysis of the social economic system structure]. *Mezhdunarodnyi nauchnyi zhurnal «Innovatsionnaya nauka»* [International Academic Journal “Innovative Science”], 2015, no. 4-1, pp. 63–71. (In Russian).
20. Shevchenko I.K., Razvadovskaya Yu.V. Metody analiza strukturnykh preobrazovaniy ekonomiki promyshlennogo sektora v usloviyakh stanovleniya novogo tekhnologicheskogo uklada [Methods of structural transformations analysis in the industrial economy in the context of new technological regime]. *Gosudarstvennoe i munitsipal'noe upravlenie. Uchenye zapiski SKAGS* [State and Municipal Management. Scholar Notes], 2012, no. 2, pp. 111–119. (In Russian).
21. Persteneva N.P. Kriterii klassifikatsii pokazatelei strukturnykh razlichii i sdvigo v [Criteria of classification of indicators of structural distinctions and shifts]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental Research], 2012, no. 3-2, pp. 478–482. (In Russian).
22. Persteneva N.P. *Metodologiya statisticheskogo issledovaniya strukturno-dinamicheskikh izmenenii (na primere ekonomiki Samarskoi oblasti)*. Diss. ... kand. ekon. nauk [Methodology of statistic research of structural and dynamic changes (Case study of Samara region economy). Cand. econ. sci. diss.]. Samara, 2003. 141 p. (In Russian).
23. Krasil'nikov O.Yu. *Strukturnye sdvigi v ekonomike* [Structural shifts in economy]. Saratov, Izd-vo Saratovskogo un-ta Publ., 2001. 164 p. (In Russian).
24. Jung T.Y., La Rovere E.L., Gaj H., Shukla P.R., Zhou D. Structural changes in developing countries and their implication for energy-related CO<sub>2</sub>emissions. *Technological Forecasting and Social Change*, 2000, vol. 63, iss. 2-3, pp. 111-136. doi: 10.1016/S0040-1625(99)00052-9.
25. Rauf A., Zhang J., Li J., Amin W. Structural changes, energy consumption and carbon emissions in China: Empirical evidence from ARDL bound testing model. *Structural Change and Economic Dynamics*, 2018, vol. 47, pp. 194–206. doi: 10.1016/j.strueco.2018.08.010.

Received May 22, 2020; accepted October 17, 2020

#### Information about the Authors

Karpov Valeriy Vasil'evich - Doctor of Economic Sciences, Professor, Chairman of the Omsk Scientific Centre, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (15, prospekt Karla Marksa, Omsk, 644024, Russia; e-mail: adm@oscsbras.ru).

Chupin Roman Igorevich - Candidate of Social Sciences, Researcher of the Omsk Scientific Centre, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (15, prospekt Karla Marksa, Omsk, 644024, Russia; e-mail: roman-chupin@ya.ru).

Kharlamova Maria Sergeevna – Leading engineer of the Omsk Scientific Centre, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (15, prospekt Karla Marksa, Omsk, 644024, Russia; e-mail: hms2020@mail.ru).

#### Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Карпов В.В., Чупин Р.И., Харламова М.С. Структурные изменения в энергетической отрасли России: оценка и межстрановые сравнения // Вестник Пермского университета. Сер. «Экономика». 2020. Том 15. № 3. С. 405–422. doi: 10.17072/1994-9960-2020-3-405-422

#### Please cite this article in English as:

Karpov V.V., Chupin R.I., Kharlamova M.S. Structural changes in the energy industry of Russia: Assessment and international comparisons. *Perm University Herald. Economy*, 2020, vol. 15, no. 3, pp. 405–422. doi: 10.17072/1994-9960-2020-3-405-422