

# ИНТЕНСИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОЩНОСТИ НЕТРАДИЦИОННЫХ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ: АНАЛИЗ ЗАРУБЕЖНОГО И ОТЕЧЕСТВЕННОГО ОПЫТА

Получено 17.06.2022      Доработано после рецензирования 19.07.2022      Принято 27.07.2022

УДК 338.26      JEL L94      DOI <https://doi.org/10.26425/2658-3445-2022-5-3-15-25>

## Трегубова Екатерина Алексеевна

Канд. экон. наук, доц. каф. экономики и управления в топливно-энергетическом комплексе, Государственный университет управления, г. Москва, Российская Федерация

ORCID: 0000-0002-0922-7055

E-mail: [deryabina\\_k@rambler.ru](mailto:deryabina_k@rambler.ru)

## Трегубов Андрей Иванович

Руководитель проекта, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва, Российская Федерация

ORCID: 0000-0003-0936-6693

E-mail: [aittde@rambler.ru](mailto:aittde@rambler.ru)

## АННОТАЦИЯ

Актуальность исследования обусловлена заметным влиянием интенсивности эксплуатации мощности на конкурентоспособность и показатели себестоимости электростанций, работающих на нетрадиционных возобновляемых источниках энергии (далее – НВИЭ). Целью исследования является сравнительный анализ показателей, характеризующих интенсивность эксплуатации мощности электростанций на НВИЭ, в электроэнергетике развитых стран (США, Германии, Франции и Великобритании) и в Российской Федерации. Задачами исследования стали обоснование и оценка показателей, характеризующих интенсивность эксплуатации электростанций на НВИЭ в России и за рубежом. Исследование основано на научных трудах отечественных ученых, материалах зарубежных обзоров и выполнено с использованием аналитического метода и экономического анализа. Отмечается, что за рубежом наиболее высокими показателями интенсивности эксплуатации генераторов НВИЭ отличаются страны, где данные электростанции расположены в районах с благоприятными природно-климатическими условиями (солнечные электростанции в США, морские ветряные электростанции в Великобритании). Электростанции на НВИЭ в Российской Федерации характеризуются более низкими показателями интенсивности эксплуатации мощности по сравнению с аналогичными электростанциями в развитых странах. Одна из причин этого – массовая локализация НВИЭ генерации в Объединенной энергетической системе Юга, сопровождающаяся проблемами интеграции этих источников энергии в энергосистему. Для повышения интенсивности эксплуатации электростанций на НВИЭ при планировке их строительства в России необходимо учитывать как природно-климатические условия, так и существующие масштабы использования генерации данного типа в региональных энергосистемах при имеющихся возможностях передачи производимой электроэнергии потребителям.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Интенсивность использования мощности, КИУМ, НВИЭ, ветряная электростанция, солнечная электростанция, электроэнергетика, тарифы на электроэнергию, структура установленной мощности, нормированная стоимость электроэнергии

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Трегубова Е.А., Трегубов А.И. Интенсивность использования мощности нетрадиционных возобновляемых источников энергии в электроэнергетике: анализ зарубежного и отечественного опыта//E-Management. 2022. Т. 5, № 3. С. 15–25.

© Трегубова Е.А., Трегубов А.И., 2022.

Статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0. всемирная (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



# INTENSITY OF USING THE NON-TRADITIONAL RENEWABLE ENERGY SOURCES CAPACITY IN THE ELECTRIC POWER INDUSTRY: ANALYSIS OF FOREIGN AND RUSSIAN EXPERIENCE

Received 17.06.2022

Revised 19.07.2022

Accepted 27.07.2022

## Ekaterina A. Tregubova

Cand. Sci. (Econ.), Assoc. Prof. at the Economics and Management in the Fuel and Energy Complex Department, State University of Management, Moscow, Russia

ORCID: 0000-0002-0922-7055

E-mail: deryabina\_k@rambler.ru

## Andrey I. Tregubov

Project Manager, National research university Higher School of Economics, Moscow, Russia

ORCID: 0000-0003-0936-6693

E-mail: aittde@rambler.ru

## ABSTRACT

The competitiveness and cost indicators of power plants operating on non-traditional renewable energy sources (NTRES) are significantly affected by the intensity of power operation. This determined the relevance of this study. The purpose of the study is a comparative analysis of indicators characterizing the using intensity of power plants on NRES in the electric power industry of developed countries (USA, Germany, France and the United Kingdom) and in the Russian Federation. The objectives of the study include the substantiation and evaluation of indicators characterizing the intensity of operation of power plants using renewable energy sources in the Russian Federation and abroad. The study is based on the scientific works of the Russian scientists, materials of foreign reviews and is carried out using the analytical methods and economic analysis. The authors note that abroad these power plants are located in areas with favorable natural and climatic conditions, and then they are distinguished by the highest rates of operation of renewable energy generators (solar power plants in the USA, offshore wind power plants in the United Kingdom). NRES-based power plants in the Russian Federation are characterized by lower rates of capacity exploitation compared to similar power plants in developed countries. One of the reasons for this is the massive localization of renewable energy generation in the United Energy System of the South, accompanied by problems of integrating these energy sources into the energy system. In order to increase the intensity of operation of NRES power plants in the Russian Federation, it is necessary to plan their construction, taking into account the existing scale of NRES power in regional energy systems and the possibility of transmitting the generated electricity to consumers.

## KEYWORDS

Intensity of power use, capacity factor, NRES, solar power stations, wind power stations, electric power industry, electricity tariffs, installed capacity structure, levelized cost of electricity

## FOR CITATION

Tregubova E.A., Tregubov A.I. (2022) Intensity of using the non-traditional renewable energy sources capacity in the electric power industry: analysis of foreign and Russian experience. *E-Management*, vol. 5, no. 3, pp. 15–25. DOI: 10.26425/2658-3445-2022-5-3-15-25



## ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

В настоящее время использование нетрадиционных возобновляемых источников энергии (далее – НВИЭ) получает все большее распространение в различных отраслях экономики (транспорт, сельское хозяйство, коммунально-бытовой сектор, электроэнергетика) по ряду причин. Во-первых, стимулированию роста доли НВИЭ в энергобалансе ряда стран (в первую очередь, развитых) способствует ограниченность или даже полное отсутствие на их территории запасов органического топлива (прежде всего, природного газа). Во-вторых, заметное влияние на масштабы использования этих источников энергии оказывает возросшее внимание к экологическим вопросам (прежде всего, климатическая повестка дня).

Вместе с тем важным фактором, ограничивающим конкурентоспособность и повсеместное использования НВИЭ, является высокая стоимость энергии, произведенной на их основе, относительно традиционной генерации на органическом топливе [Дегтярев, 2017]. Указанное ограничение обусловлено низкой интенсивностью использования мощности НВИЭ ввиду переменного характера ресурсов данного вида. Определяющее влияние интенсивности эксплуатации мощности на показатели себестоимости энергии, полученной с использованием НВИЭ, объясняется преимущественно условно-постоянным характером затрат и отсутствием топливной составляющей.

Действительно, в Европе на фоне наблюдаемого роста объемов использования НВИЭ отмечалось более чем трехкратное увеличение стоимости производства электроэнергии в 2021 г. Так, по данным электроэнергетической биржи Nord Pool, по состоянию на 16 декабря 2021 г. средняя цена на электроэнергию в Германии составила 344,3 Евро/МВт·ч., что в 3,8 раза выше цены годом ранее (91,7 Евро/МВт·ч.). Аналогичная ситуация и в других европейских странах, в том числе во Франции, где цена на электроэнергию за последний год увеличилась со 102,25 Евро/МВт·ч. до 353,09 Евро/МВт·ч.<sup>1</sup>

Поэтому вопрос повышения интенсивности использования мощности НВИЭ является критически важным при изучении перспектив применения источников энергии этого типа. В настоящей работе заявленная проблема рассматривается применительно к электроэнергетике.

## МОЩНОСТЬ ГЕНЕРАЦИИ НА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ: ТЕМПЫ ИЗМЕНЕНИЯ И СТРАНОВАЯ СТРУКТУРА / GENERATION CAPACITY FROM RENEWABLE ENERGY SOURCES: RATES OF CHANGE AND COUNTRY STRUCTURE

По данным Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (The International Renewable Energy Agency, IRENA), суммарная установленная мощность возобновляемых источников энергии (далее – ВИЭ) за прошедшие 10 лет увеличилась в 2,3 раза, на 1,6 тыс. ГВт (табл. 1). При этом более 70 % прироста обеспечили электростанции на нетрадиционных возобновляемых источниках энергии: солнечные электростанции (далее – СЭС) и ветряные электростанции (далее – ВЭС).

**Таблица 1.** Динамика мощности возобновляемых источников энергии в целом по миру за 2010–2020 гг.

Table 1. Dynamics of renewable energy capacity in the whole world for 2010–2020

Тип электростанции	Мощность, ГВт		Динамика за 2020–2010 гг.	
	2010 г.	2020 г.	Динамика за 2020–2010 гг.	
			ГВт	%
Гидроэлектростанции	926	1 212	285	130,8
Ветряные электростанции	181	732	552	405,0
Солнечные электростанции	42	716	675	1 721,5
Прочие	76	142	66	186,3
Электростанции на возобновляемых источниках энергии, всего	1 225	2 802	1 577	228,7

Источник <sup>2</sup> / Source <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Журнал «Эксперт» (Среда 15 дек. 2021). За последний год цены на электроэнергию в ЕС выросли в три раза. Режим доступа: <https://expert.ru/2021/12/15/za-posledniy-god-tsenu-na-elektroenergiyu-v-yes-vyrosli-v-tri-raza/> (дата обращения: 15.06.2022).

<sup>2</sup> The International Renewable Energy Agency (2021). IRENA Renewable Capacity Statistics 2021. Режим доступа: <https://www.irena.org/Statistics/Download-query-tools> (дата обращения: 20.05.2022).

Более 30 % всей мощности электростанций на ВИЭ сосредоточено в Китае, на долю Европы приходится чуть больше 20 % мощности электростанций этого типа, где они равномерно распределены по отдельным странам. На третьем месте – США с показателем в 10 % (табл. 2).

**Таблица 2.** Установленная мощность возобновляемых источников энергии в 2020 г. по отдельным континентам и странам

Table 2. Installed capacity of renewable energy sources in 2020 by selected continents and countries

Континенты (страны)	Мощность, ГВт	Доля в общей сумме, %
<b>Азия</b>	<b>1 290</b>	<b>46</b>
<i>в том числе:</i>		
Китай	895	32
Индия	134	5
Япония	103	4
<b>Евразия</b>	<b>111</b>	<b>4</b>
<i>в том числе:</i>		
Российская Федерация	55	2
Турция	49	2
<b>Европа</b>	<b>609</b>	<b>22</b>
<i>в том числе:</i>		
Германия	132	5
Испания	59	2
Франция	55	2
Италия	55	2
Великобритания	47	2
<b>Северная Америка</b>	<b>421</b>	<b>15 %</b>
<i>в том числе:</i>		
Канада	101	4
США	292	10
<b>Южная Америка и страны Карибского бассейна</b>	<b>249</b>	<b>9</b>
<i>в том числе:</i>		
Бразилия	150	5
<b>Океания</b>	<b>42,9</b>	<b>2</b>
<i>в том числе:</i>		
Австралия	34,5	1
<b>Африка</b>	<b>53,8</b>	<b>2</b>
<b>Ближний Восток</b>	<b>25,3</b>	<b>1</b>
Итого	2 802	

Источник <sup>3</sup> / Source <sup>3</sup>

Доля СЭС и ВЭС в структуре производства электроэнергии за прошедшие 20 лет увеличилась до 20 % в Европе, до 10 % – в США и Китае. К 2026 г. также ожидается заметный рост удельного веса СЭС и ВЭС в структуре выработки: до 30 % в Европе, до 20% в США и Китае<sup>4</sup>.

В России тоже существуют амбициозные планы по развитию электростанций на нетрадиционных возобновляемых источниках энергии. В частности, если на конец 2016 г. в стране функционировали объекты генерации НВИЭ мощностью 257 МВт, то в результате новых вводов за пятилетний период 2017–2021 гг.

<sup>3</sup> Там же.

<sup>4</sup> International Energy Agency (2021). Renewables 2021. Analysis and forecast to 2026. Режим доступа: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/5ae32253-7409-4f9a-a91d-1493fbb9777a/Renewables2021-Analysisandforecastto2026.pdf> (дата обращения: 15.05.2022).

мощность объектов увеличилась более чем в 10 раз до 3 489 МВт, к концу 2028 г. ожидается ее увеличение еще почти в 2,5 раза, до 8 629 МВт<sup>5</sup>.

Процесс увеличения масштабов использования НВИЭ в России начался примерно на 10 лет позже, чем в развитых странах. Это обусловлено, с одной стороны, достаточной обеспеченностью страны органическими видами топлива, составляющими основу традиционной энергетики. С другой стороны, кризисные явления в экономике Российской Федерации в 1990-е гг. «затормозили» развитие технологий, в том числе и в сфере возобновляемой энергетики. Поэтому актуальным является сравнительный анализ показателей интенсивности эксплуатации мощности генерации НВИЭ, достигнутых в развитых странах и в России.

## ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА / HISTORY REFERENCE

Устройства, использующие силу ветра для выработки электрической энергии, стали выпускаться в Германии, Франции, США и России еще в начале XX в. В Советском Союзе проектированием ветроустановок занимался целый ряд научно-исследовательских институтов: Всесоюзный научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства, Всесоюзный научно-исследовательский институт электромеханики, Центральный аэрогидродинамический институт и другие [Безруких, 2010].

Но масштабы использования НВИЭ в электроэнергетике были минимальны вследствие непостоянного характера выработки и, соответственно, высокой стоимости и низкой надежности источников этого типа. На территории России исторически перспективным считалось применение НВИЭ в комплексе с другими источниками энергии, главным образом, для энергоснабжения автономных потребителей в изолированных, труднодоступных районах, отличающихся высокими затратами на доставку органического топлива. В работах ученых Института систем энергетики имени Л.А. Мелентьева (ИСЭМ) СО РАН отмечалось, что ВИЭ следует рассматривать не как альтернативу, а как один из путей совершенствования традиционного энергоснабжения [Воропай, 2010]. Проектируемые в 1950–70-е гг. в СССР ветроэлектростанции предназначались преимущественно для энергоснабжения сельскохозяйственного производства [Сыркин, 2009].

Наблюдаемый в мире рост объемов использования НВИЭ после 2010 г. связывают с развитием цифровых технологий, упрощающих диспетчеризацию и улучшающих качество прогнозирования природно-климатических характеристик и объемов выработки электроэнергии с использованием нетрадиционных возобновляемых источников энергии<sup>6</sup>. Это способствует снижению себестоимости производства электроэнергии, которая, однако, пока остается выше себестоимости электроэнергии традиционных тепловых электростанций (далее – ТЭС) и атомных электростанций (далее – АЭС).

Проблема высоких цен на электроэнергию, полученную с помощью НВИЭ, является причиной субсидирования электростанций данного типа как в России, так и за рубежом, с целью обеспечения их конкурентоспособности [Низамутдинова, 2018]. По оценкам экспертов [Темная, 2019], в России объем перекрестного субсидирования строительства новых генерирующих мощностей по договору о предоставлении мощности ВИЭ за счет цены мощности оптового рынка для потребителей, не относящихся к населению, возрос с 1,82 млрд руб. в 2016 г. до 23,15 млрд руб. в 2019 г.

Одним из значимых критериев принятия инвестиционных решений по строительству электростанций является показатель нормированной стоимости электроэнергии (англ. Levelized cost of electricity, LCOE), представляющий собой отношение всех затрат, связанных со строительством и эксплуатацией электростанции и скорректированных с учетом ожидаемого уровня доходности, к объему производства электроэнергии за срок полезной эксплуатации [Черняховская, 2016]. На сегодняшний день в среднем по миру показатели нормированной стоимости электроэнергии по ВЭС превышают аналогичный показатель электростанций на углеродном топливе на 24 % (для ВЭС на суше) и в 4,6 раза (для морских ВЭС). По СЭС разница еще больше: в 2,8 раза для фотовольтаических и в 5,3 раза для тепловых. Основной причиной данного разрыва в стоимости являются низкие показатели коэффициентов использования установленной мощности (далее – КИУМ) по ВЭС и СЭС, характеризующих интенсивность ее использования [Дегтярев, 2017].

<sup>5</sup> Ассоциация развития возобновляемой энергетики. Ежеквартальный информационный обзор рынка ВИЭ в России (июль–сентябрь 2021 г.). Режим доступа: <https://rreda.ru/information-obzor-jule-september-2021> (дата обращения: 15.05.2022).

<sup>6</sup> Министерство энергетики Российской Федерации. Инновации в ТЭК. Измерение и оценка результатов и эффектов цифровой трансформации топливно-энергетического комплекса. Режим доступа: <https://in.minenergo.gov.ru/upload/iblock/29a/29a0484ea0e4bd272252a486a80f2c32.pdf>. (дата обращения: 13.06.2022).

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ / RESEARCH METHODS

В настоящей работе представлены результаты сравнительного анализа масштабов использования и показателей интенсивности эксплуатации мощности электростанций на НВИЭ и на традиционных источниках в России и за рубежом.

Масштабы использования традиционных технологий производства электроэнергии и НВИЭ оценивались по доле электростанций рассматриваемого типа в структуре установленной мощности ( $\Delta$ ).

Оценка интенсивности использования мощности электростанций различного типа формировалась на основании анализа следующих показателей:

- коэффициента использования установленной мощности, показывающего отношение количества фактически выработанной электроэнергии к количеству, которое могло бы быть произведено при работе электростанции с нагрузкой, соответствующей ее установленной мощности;

- структурного коэффициента использования мощности, характеризующего соотношение доли в структуре выработки и доли в структуре установленной мощности по рассматриваемому типу электростанций.

Для расчета КИУМ использовалась следующая формула:

$$КИУМ_i = \frac{\mathcal{E}_i}{(N_{yi} \times 8760)}, \quad (1)$$

где:  $\mathcal{E}_i$  – годовая фактическая выработка электростанции  $i$ -го типа, млн кВт·ч;  $N_{yi}$  – установленная мощность электростанции  $i$ -го типа, ГВт.

Структурный коэффициент использования мощности по типам электростанций определялся по формуле:

$$КС_{Ti} = \frac{\Delta \mathcal{E}_i}{\Delta N_{yi}}, \quad (2)$$

где:  $\Delta \mathcal{E}_i$  – доля электростанции  $i$ -го типа в структуре выработки электроэнергии, %;  $\Delta N_{yi}$  – доля электростанции  $i$ -го типа в структуре установленной мощности.

Показатели интенсивности по типам электростанций в развитых странах Европы (Германия, Великобритания, Франция) и в США определены авторами работы на основании данных ассоциации «НП Совет рынка» по абсолютным значениям установленной мощности электростанций, а также доли различных источников в структуре выработки и в структуре установленной мощности<sup>7</sup>.

Показатели интенсивности по типам электростанций в разрезе объединенных энергосистем России рассчитаны авторами на основании данных Системного оператора Единой энергетической системы Российской Федерации по структуре установленной мощности электростанций и балансам электроэнергии Объединенной энергетической системы<sup>8</sup>.

## МАСШТАБЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ТИПОВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ / USE OF MAIN TYPES OF POWER PLANTS IN RUSSIA AND ABROAD

Можно отметить, что тепловые электростанции остаются основой электроэнергетики в США, Великобритании и Германии. Электростанции данного типа составляют примерно треть от всего объема установленной мощности генерации в Великобритании и Германии. В США доля ТЭС почти в 2 раза выше и достигает почти 70 %. Во Франции, где исторически в структуре установленной мощности доминирует атомная генерация, доля ТЭС в структуре меньше 15 % (рис.1).

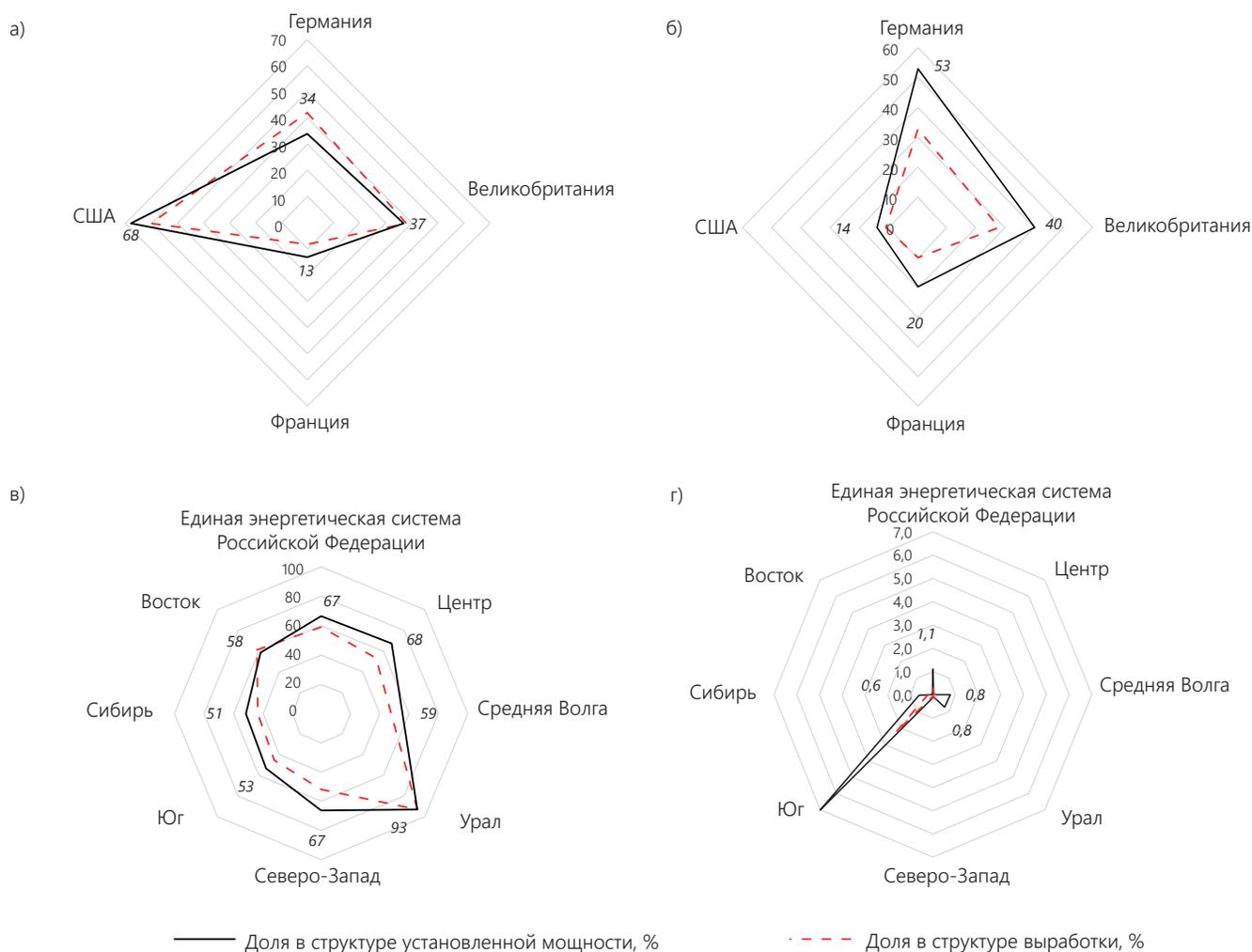
<sup>7</sup> Ассоциация НП «Совет рынка». Зарубежная электроэнергетика. Режим доступа: <https://www.np-sr.ru/ru/market/cominfo/foreign/index.htm#3> (дата обращения: 15.05.2022).

<sup>8</sup> Системный оператор Единой энергетической системы России. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2020 г. Режим доступа: <https://www.sops.ru/functioning/tech-disc/tech-disc2021/tech-disc2021ups> (дата обращения: 15.05.2022). (Далее – Системный оператор ЕЭС РФ).

Что касается НВИЭ, то максимальными показателями доли электростанций этого типа в структуре генерации отличаются Германия (30 % по ВЭС и 23 % по СЭС) и Великобритания (23 % по ВЭС и 14 % по СЭС).

Единая энергетическая система Российской Федерации (далее – ЕЭС РФ) развивается как комплекс, связывающий семь объединенных энергосистем (далее – ОЭС), сформированных по территориальному принципу: ОЭС Центра, ОЭС Средней Волги, ОЭС Урала, ОЭС Северо-Запада, ОЭС Юга, ОЭС Сибири, ОЭС Востока. Доля ТЭС в структуре установленной мощности ЕЭС РФ продолжает доминировать и варьируется от 51 % в ОЭС Сибири до 93 % в ОЭС Урала.

Нетрадиционные источники (ВЭС и СЭС) распределены по территории РФ очень неравномерно, их суммарная доля в структуре установленной мощности заметно больше в ОЭС Юга (до 7 %) при средней величине 1,1 %.



а – Тепловые электростанции, развитые страны; б – Ветряные и солнечные электростанции, развитые страны; в – Тепловые электростанции, Объединенные энергетические системы Российской Федерации; г – Ветряные и солнечные электростанции, Объединенные энергетические системы Российской Федерации

Источник<sup>9,10</sup> / Source<sup>9,10</sup>

**Рис. 1.** Доля тепловых электростанций и электростанций, работающих на нетрадиционных возобновляемых источниках энергии, в структуре установленной мощности и в структуре выработки в развитых странах и в Российской Федерации в 2020 г.

Figure 1. The share of thermal power plants and power plants operating on non-traditional renewable energy sources in the structure of installed capacity and in the structure of generation in developed countries and in the Russian Federation in 2020

<sup>9</sup>Системный оператор ЕЭС РФ.

<sup>10</sup>Ассоциация НП «Совет рынка». Зарубежная электроэнергетика. Режим доступа: <https://www.np-sr.ru/ru/market/cominfo/foreign/index.htm#3> (дата обращения: 15.05.2022). (Далее – Ассоциация НП «Совет рынка»).

Как следует из рисунка 1, и в России и за рубежом доля электростанций, работающих на НВИЭ, в структуре выработки повсеместно ниже доли в структуре установленной мощности, что косвенно свидетельствует о более низкой интенсивности эксплуатации данного типа генерации по сравнению с другими источниками электроэнергии.

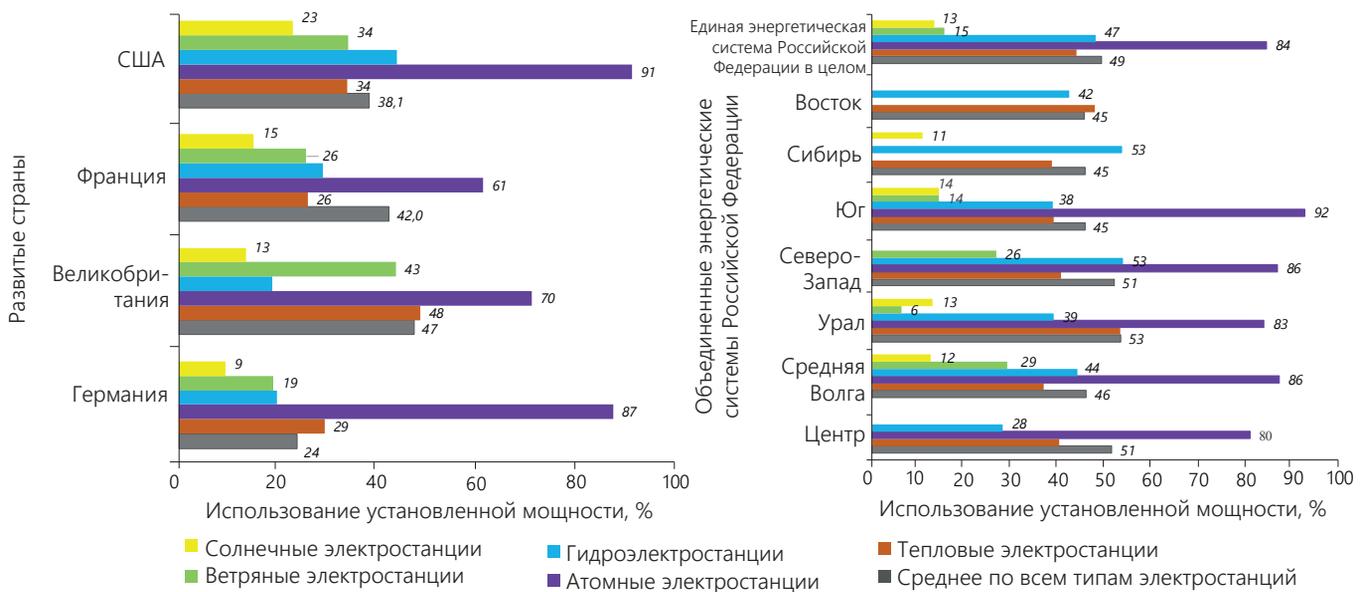
### ПОКАЗАТЕЛИ ИНТЕНСИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОЩНОСТИ ОСНОВНЫХ ТИПОВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В РАЗВИТЫХ СТРАНАХ И В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ / INTENSITY INDICATORS OF POWER PLANTS CAPACITY USING IN DEVELOPED COUNTRIES AND IN THE RUSSIAN FEDERATION

Среди рассмотренных развитых стран наибольшими показателями КИУМ по электростанциям на НВИЭ характеризуются:

- Великобритания – 43 % по ВЭС;
- США – 23 % по СЭС (рис. 2).

Данный факт подтверждает сильную зависимость интенсивности использования производственной мощности электростанций на НВИЭ от природно-климатических условий. В Великобритании заметную долю ВЭС составляют прибрежные электростанции, где сила ветра выше и стабильнее. США располагают значительными территориями в южных широтах, где были построены солнечные электростанции.

Наименьшие показатели КИУМ по электростанциям НВИЭ в Германии (КИУМ по ВЭС – 9 %, по СЭС – 9 %), которая характеризуется максимальными масштабами использования НВИЭ среди рассмотренных стран (рис. 2).



Источник<sup>11,12</sup> / Source<sup>11,12</sup>

**Рис. 2.** Показатели использования установленной мощности электростанций разных типов по развитым странам и энергосистемам Российской Федерации в 2020 г.

Figure 2. Capacity factor of different power plants for developed countries and Russian energy systems in 2020

Следует также отметить, что КИУМ по ВЭС в рассмотренных развитых странах практически вплотную приблизились к значениям данного показателя по традиционным ТЭС. В США и Франции показатели КИУМ по ВЭС и по ТЭС имеют равные значения, в Великобритании КИУМ по ВЭС ниже соответствующего показателя по ТЭС только на 5 процентных пунктов. Наибольшее отклонение между КИУМ по ВЭС и ТЭС отмечается в Германии (10 процентных пунктов), где показатели КИУМ по электростанциям НВИЭ самые низкие среди рассмотренных стран.

<sup>11</sup> Ассоциация НП «Совет рынка».

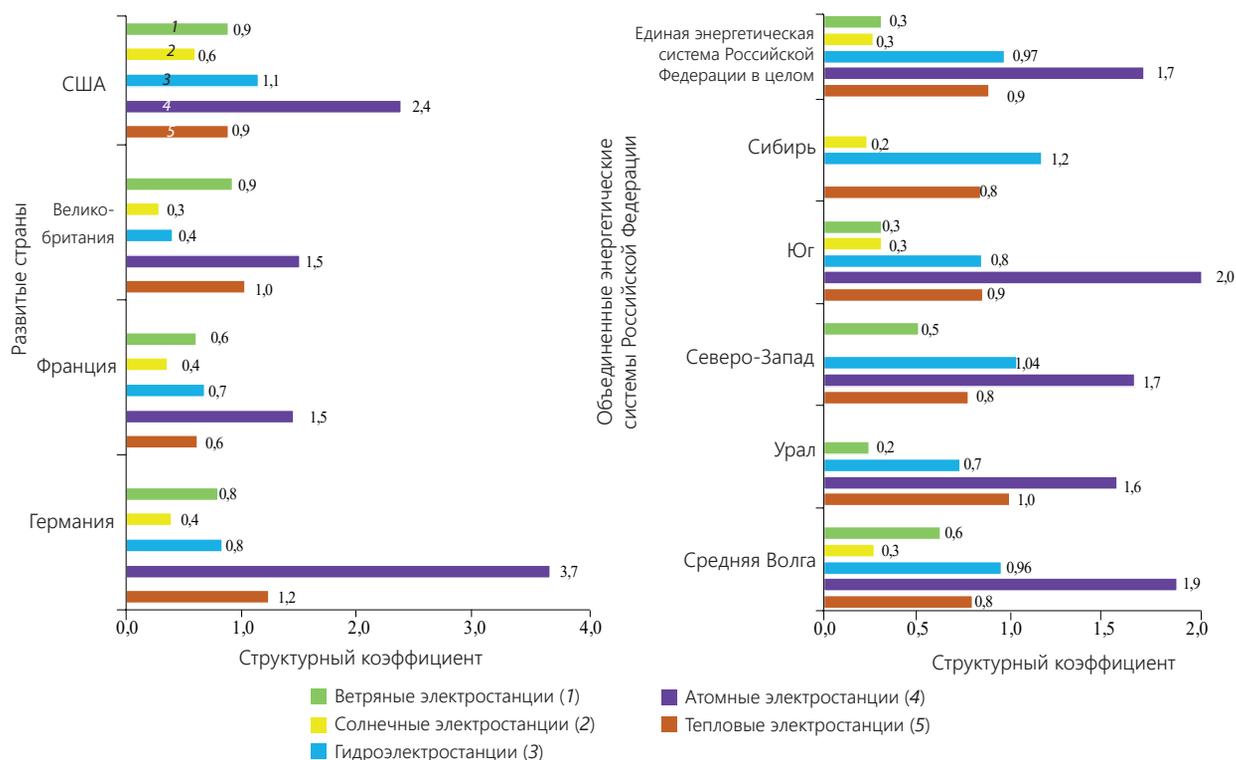
<sup>12</sup> Системный оператор ЕЭС РФ.

В ЕЭС РФ по итогам 2020 г. КИУМ в целом по всем типам электростанций составил 49 % и был выше, чем в любой из рассмотренных развитых стран (рис. 2). Но по электростанциям на НВИЭ в России КИУМ остается заметно ниже, чем в большинстве рассмотренных развитых стран: в среднем по ЕЭС РФ 15 % по ВЭС и 13% по СЭС.

Низкие значения КИУМ электростанций на НВИЭ в ЕЭС РФ обусловлены их преимущественной локализацией в ОЭС Юга и, как следствие, трудностями их интеграции в энергосистему ввиду масштабов использования НВИЭ, переменного характера выработки и географических особенностей региона<sup>13</sup>. Энергосистема Юга исторически имеет достаточно развитые межсистемные связи преимущественно с иностранными государствами (Украина, Азербайджан, Грузия, Южная Осетия, Абхазия и Казахстан), а с энергосистемами ЕЭС России граничит только на севере, что осложняет передачу электроэнергии от НВИЭ электростанций.

Для обеспечения достаточной загрузки мощностей электростанций на НВИЭ необходимо планировать их территориальное размещение как с учетом характеристик природно-климатических факторов, так и с учетом спроса на производимую электроэнергию. При этом необходимо учитывать, что строительство дополнительных линий электропередач для выдачи мощности электростанций является затратным мероприятием, а дальность передачи электроэнергии имеет свои ограничения.

Анализируя соотношение структурных показателей объемов выработки и мощности по основным типам электростанций в развитых странах (рис.1), следует отметить, что доля традиционных ТЭС в структуре выработки заметно выше доли в структуре мощности только в одной из рассмотренных стран – в Германии (42 % и 34 % соответственно). Как следствие, коэффициент соотношения этих структурных показателей по ТЭС Германии заметно больше единицы ( $КС_{ТЭС} = 1,2$ ), что свидетельствует о более интенсивном использовании электростанций данного типа по сравнению с другими (рис. 3).



Источник<sup>14,15</sup> / Source<sup>14,15</sup>

**Рис. 3.** Соотношение долей в структуре выработки и в структуре мощности по основным типам электростанций за рубежом и в Российской Федерации в 2020 г.

Figure 3. The ratio of the share in the generation structure and the share in the capacity structure by main types of power plants abroad and in the Russian Federation in 2020

<sup>13</sup> Катаев А. (Вторник 21 нояб. 2021). Выработка одного ветряка будет вытеснять выработку другого // Коммерсантъ. № 212 (7174). Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/5088333> (дата обращения: 15.05.2022).

<sup>14</sup> Ассоциация НП «Совет рынка».

<sup>15</sup> Системный оператор ЕЭС РФ.

Во всех рассмотренных развитых странах наблюдается высокая интенсивность использования установленной мощности АЭС. Коэффициент по АЭС свидетельствует о превышении доли в структуре выработки над долей в структуре мощности в 1,5–3,7 раза. Причем наиболее интенсивно мощности АЭС эксплуатируются в Германии, где доля данного типа электростанций в структуре установленной мощности генерации минимальна и не превышает 3 %.

Структурный коэффициент использования мощности по ВЭС ( $K_{C_{T_{ВЭС}}}$ ) во всех рассмотренных странах меньше единицы, но по величине практически повсеместно соответствует структурным коэффициентам по ТЭС. По СЭС европейских стран значения структурного коэффициента не превышают 0,4, что заметно меньше данного показателя по другим типам электростанций и свидетельствует о низкой интенсивности использования их мощности.

Низкую интенсивность эксплуатации электростанций на НВИЭ в ЕЭС РФ подтверждают и значения структурного коэффициента использования мощности  $K_{C_T}$ . В ОЭС Юга, где располагается, главным образом, генерация на НВИЭ, доля ВЭС и СЭС в структуре выработки более чем в 3 раза меньше доли электростанций данных типов в структуре установленной мощности, а коэффициент соотношения этих показателей не превышает 0,3 (рис. 3).

Удельные показатели выработки в общем объеме по ТЭС и ГЭС соответствуют удельным показателям в структуре установленной мощности в заметно большей степени. Коэффициент по ТЭС в среднем по ЕЭС РФ составляет 0,9, по ГЭС – 0,97. Доля АЭС в структуре выработки повсеместно больше доли в структуре установленной мощности, и в среднем по ЕЭС РФ данное превышение составляет порядка 70 % ( $K_{C_T} = 1,7$ ).

## ВЫВОДЫ / CONCLUSIONS

Низкая интенсивность эксплуатации генераторов на НВИЭ обусловлена переменным характером ресурсов данного типа и является одной из причин высокой себестоимости электроэнергии, производимой указанными электростанциями, а также необходимости их дополнительного субсидирования со стороны потребителей электроэнергии.

Результаты выполненного исследования показали, что за рубежом наиболее высокая интенсивность использования мощности электростанций на НВИЭ фиксируется в странах, где они функционируют в благоприятных природно-климатических условиях. Так, наибольший КИУМ по ВЭС отмечается в Великобритании (43 %), где развитие получили офшорные ветроэлектростанции в прибрежных зонах с постоянным потоком ветра. Максимальный КИУМ по СЭС достигнут в США, где данный тип станций размещен в южных широтах с большим потенциалом солнечной энергии.

В Германии, где установленная мощность ВЭС и СЭС в сумме составляет более половины всей генерации, отмечаются наименьшие показатели КИУМ среди рассмотренных стран, как по НВИЭ генерации (19 % – по ВЭС и 9 % – по СЭС), так и по традиционным ТЭС (29 %). Данная особенность косвенно может свидетельствовать о сложности интеграции больших объемов НВИЭ в энергосистему, о необходимости содержания значительного резерва тепловых электростанций для обеспечения надежности энергоснабжения при преобладающей доле источников НВИЭ с переменным характером выработки.

В ЕЭС РФ показатели интенсивности использования мощности СЭС ( $КИУМ = 13\%$ ,  $K_{C_{T_i}} = 0,3$ ) практически соответствуют средним европейским показателям, но заметно ниже, чем в США.

Интенсивность использования мощности ВЭС в ЕЭС РФ ( $КИУМ = 15\%$ ,  $K_{C_{T_i}} = 0,3$ ) заметно ниже, чем в Германии, Великобритании и США ( $КИУМ = 26–43\%$ ,  $K_{C_{T_i}} = 0,6–0,9$ ). В качестве основной причины низких показателей в России следует отметить сложность интеграции НВИЭ в региональную энергосистему Юга, где данный тип электростанций получил преимущественное развитие.

Увеличение интенсивности эксплуатации генерации на НВИЭ (повышение КИУМ данного типа электростанций, доли в структуре выработки электроэнергии) возможно при расширении пропускной способности существующих межсистемных связей ОЭС Юга с другими энергосистемами, что требует значительных инвестиций.

Для обеспечения удовлетворительных показателей КИУМ по электростанциям на НВИЭ в России и, соответственно, себестоимости производимой электроэнергии, планирование их строительства необходимо осуществлять с учетом существующих масштабов использования НВИЭ в регионах и возможности передачи генерируемой мощности потребителям.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- Безрукых П.П. (2010). Ветроэнергетика: справочное и методическое пособие. М.: Энергия. 320 с.
- Воропай Н.И. (2010). Системные исследования в энергетике: Ретроспектива научных направлений СЭИ–ИСЭМ. Новосибирск: Наука. 686 с.
- Дегтярев К.С. (2017). Экономика возобновляемой энергетики в мире и в России // Сантехника, отопление, кондиционирование. № 9. С. 80–87.
- Низамутдинова Н.С., Кирпичникова И.М., Пташкина-Гирина О.С. (2018). Мировой и российский опыт применения государственной поддержки возобновляемой энергетики // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». Т. 18, № 1. С. 140–145. [https://doi.org/ DOI: 10.14529/power180117](https://doi.org/10.14529/power180117)
- Темная О.А., Суюнчев М.М., Агафонов Д.В. (2020). Исследование тарифных последствий перекрестного субсидирования в электроэнергетике: научный доклад. М.: Институт экономики естественных монополий РАНХиГС. 51 с. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3663240>
- Сыркин В.В., Гавриленко В.В., Шалаев В.С. (2009). Ветроэнергетика – из прошлого через настоящее в будущее // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». № 4 (72). С. 71–80.
- Черняховская Ю.В. (2016). Эволюция методологических подходов к оценке стоимости электроэнергии. Анализ зарубежного опыта // Вестник ИГЭУ. №. 4. С. 56–68. <https://doi.org/10.17588/2072-2672.2016.4.056-068>

**REFERENCES**

- Bezrukikh P.P. (2010), *Wind power: Reference and methodological manual*, Energy, Moscow, Russia (in Russian).
- Chernyakhovskaya Yu.V. (2016), “Evolution of methodological approaches to estimating the cost of electricity. Analysis of foreign experience”, *Bulletin of the Ivanovo State Power Engineering University*, no. 4, pp. 56–68, <https://doi.org/10.17588/2072-2672.2016.4.056-068>
- Degtyarev K.S. (2014), “Economics of renewable energy in the world and in Russia”, *Plumbing, heating, air conditioning*, no. 9, pp. 80–87.
- Nizamutdinova N.S., Kirpichnikova I.M., Ptashkina-Girina O.S. (2018), “World and Russian experience in applying state support for renewable energy”, *Bulletin of the South Ural State University. Power Engineering Series*, vol. 18, no.1, pp. 140–145, [https://doi.org/ DOI: 10.14529/power180117](https://doi.org/10.14529/power180117)
- Temnaya O.A., Suyunchev M.M., Agafonov D.V. (2020), *Studying the Tariff Effects of Cross-Subsidization in the Electricity Industry*, Institute of Economics of Natural Monopolies RANEPА, Moscow, Russia. (In Russian), <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3663240>
- Sirkin V.V., Gavrilenko V.V., Shalaev V.S. (2009), “Wind power – from the past through the present to the future”, *International scientific journal Alternative energy and ecology*, no. 4 (72), pp. 71–80.
- Voropay N.I. (2010), *System Research in Energy: Retrospective of scientific research of SEI-ISEM*, Nauka, Novosibirsk, Russia (in Russian).