

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И ВЫЗОВЫ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ

УДК 911.1

DOI: 10.18384/2712-7621-2022-3-102-119

ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ ОТДЕЛЬНЫХ СТРАН МИРА

Обухов П. А.

*Независимый исследователь
г. Мытищи, Российская Федерация*

Аннотация

Цель. Оценить направления и динамику энергетического перехода в электроэнергетике ряда зарубежных стран, исходя из тех задач, которые предстоит решить в процессе энергоперехода российской электроэнергетики.

Процедуры и методы. На основе программно-целевого метода выполнено моделирование целевых структур (построение стратегических карт) развития мировой электроэнергетики и электроэнергетики Германии согласно целям «Повестки устойчивого развития» Организации Объединённых Наций. На основе сравнительно-описательного метода проведён анализ соответствия итогов энергоперехода в электроэнергетике отдельных стран критериям ценовой и физической доступности, надёжности электроснабжения, а также уместной возобновляемости и энергоэффективности, которые были заданы на глобальном уровне.

Результаты. Выявлены особенности энергетического перехода в электроэнергетике ряда ведущих промышленных стран, включая позитивные особенности (снижение удельного топливопотребления и отрицательного воздействия на окружающую среду традиционной электроэнергетики, оптимальное использование энергии ветра и солнца), негативные особенности (безосновательный отказ от развития традиционной энергетики, с проявившейся её деградацией и нарушением системности в электроснабжении, гипертрофированное развитие ветро- и гелиоэнергетики, невзирая на кратное удорожание выработки электроэнергии, ненадёжность и несамодостаточность таких источников в конкретных природно-географических локациях). Тем самым подтверждается обоснованность выбора главных направлений энергоперехода в России, связанных с преимущественным развитием атомной энергетики, в которой обеспечен должный научно-практический задел, достигнут высокий уровень надёжности и безопасности, освоен замкнутый (возобновляемый) топливный цикл.

© СС BY Обухов П. А., 2022.

Теоретическая и/или практическая значимость. Обращается внимание на специфические особенности передачи энергии в отдельных странах, которые должны учитываться при её выполнении в электроэнергетике России.

Ключевые слова: устойчивое развитие, энергетический переход, традиционные виды генерации электрической энергии, замкнутый атомный топливный цикл, возобновляемые источники энергии, энергетический кризис

FEATURES OF ENERGY TRANSITION IN ELECTRICITY POWER INDUSTRY OF SOME COUNTRIES OF THE WORD

P. Obukhov

Independent researcher

Mytishchi, Russian Federation

Abstract

Aim. We assess the directions and dynamics of energy transition in the electric power industry of some foreign countries, based on the tasks to be solved in the process of energy transition in the Russian electric power industry.

Methodology. Using the program-target method, we model target structures (construction of strategic maps) of the development of the world electric power industry and the German electric power industry in accordance with the goals of the “Sustainable Development Agenda” of the United Nations. Use is also made of a comparative descriptive method to analyze the compliance of the results of energy transition in the electric power industry of individual countries with such criteria as price, physical accessibility, reliability of electricity supply, appropriate renewability and energy efficiency, which were set at the global level.

Results. We revealed some features of energy transition in the power industry of a number of leading industrial countries, including positive (specific fuel consumption reduction, decrease in negative impact on the environment of traditional power industry, and optimal use of wind and solar energy) and negative features (groundless refusal to develop traditional energy, with its degradation and disruption of the system in power supply; hypertrophied development of wind and solar energy despite the multiple increase in the cost of electricity generation; and unreliability and lack of self-sufficiency of such sources in specific natural and geographical locations). This confirms the validity of the choice of the main directions in energy transition in Russia, associated with the predominant development of nuclear energy, where proper scientific and practical groundwork is provided, a high level of reliability and safety is achieved, and a closed (renewable) fuel cycle is mastered.

Research implications. Attention is drawn to specific features of energy transition in individual countries that should be taken into account it in the Russian electric power industry.

Keywords: sustainable development, energy transition, traditional types of electric energy generation, closed nuclear fuel cycle, renewable energy sources, energy crisis

Введение

Современный энергетический переход является далеко не первым, поскольку энергопереходы сопровожда-

ют и обеспечивают смену каждого из индустриальных укладов. В масштабах мирового хозяйства за последние 200 лет (в электроэнергетике – за

140 лет) произошло несколько энергопереходов, и современный связан со становлением цифровизированной Индустрии 4.0, которая в принципе невозможна без электроэнергетического «покрытия» любой точки хозяйственной деятельности в глобальном масштабе. К тому же характер Индустрии 4.0, глобальный по охвату и активно воздействующий на все компоненты географической среды, предполагает, что в процессе перехода электроэнергетике должны быть приданы свойства нейтральности (чистоты, «зелёности») в части воздействия на окружающую среду, при том, что требование всеобщей доступности (ценовой и физической) электроэнергии для потребителя только усиливается.

К настоящему времени во многих странах мира уже накоплен немалый опыт реализации энергоперехода в электроэнергетике, тогда как России только предстоит войти в него. Единая энергетическая система России, обладая большим запасом прочности с советского периода, только в последние годы потребовала глубокой реновации; наступило время выбора ключевых решений, которые обеспечили бы успех энергоперехода с учётом отечественной специфики. Началом собственно энергоперехода в российской электроэнергетике, по всей видимости, следует считать февраль 2022 г., когда в промышленном режиме на Балаковской АЭС началось использование РЕМИКС-топлива; и это стало практическим подтверждением доступности, воспроизводимости (при замкнутом цикле) и экологичности атомной генерации, которая, по всей видимости, и будет обеспечивать ре-

шение главных задач энергоперехода и сообразно развивать иные виды электрогенерации в нашей стране [7]. На каждом этапе энергоперехода в российской электроэнергетике следует как можно более полно учитывать опыт (как позитивный, так и негативный) других стран, прежде всего, вступивших в него в «первых рядах» и испытывших на себе его различные варианты.

Энергопереход: его общее содержание применительно к электроэнергетике

Особенностью современного энергоперехода является его глобальное регулирование на уровне Организации Объединённых наций, что определяется глобальным характером Индустрии 4.0. В доктринальном документе, принятом Генеральной ассамблеей ООН 25 сентября 2015 г. «Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года»¹, определено 17 целей и 169 подцелей (условий, требований) для нового индустриального общества. Основная цель в области энергетики (№ 7) кратко обозначена как «Недорогостоящая и чистая энергия». Рассмотрим детально целевую конструкцию в области энергетики (табл. 1).

Целевую структуру современного энергоперехода можно охарактеризо-

¹ Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года. Резолюция принятая Генеральной Ассамблеей 25 сентября 2015 года // Организация Объединённых Наций: [сайт]. URL: https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=R (дата обращения: 10.07.2022).

Таблица 1 / Table 1

Структура целей устойчивого развития в области энергетики / Structure of sustainable energy development goals

Цель 7 (развёрнуто): обеспечение доступа к недорогим, надёжным, устойчивым и современным источникам энергии для всех		
Цель 7 (кратко): недорогостоящая и чистая энергия		
Подцель 7.1: к 2030 г. обеспечить всеобщий доступ к недорогому, надёжному и современному энергоснабжению	Подцель 7.2: к 2030 г. значительно увеличить долю энергии из возобновляемых источников в мировом энергетическом балансе	Подцель 7.3: к 2030 г. удвоить глобальный показатель повышения энергоэффективности
Ключевое направление достижения цели 7a: к 2030 г. активизировать международное сотрудничество в целях облегчения доступа к исследованиям и технологиям в области экологически чистой энергетики, включая возобновляемую энергетику, повышение энергоэффективности и передовые и более чистые технологии использования ископаемого топлива, и поощрять инвестиции в энергетическую инфраструктуру и технологии экологически чистой энергетики		Ключевые выгодыприобретатели от достижения цели 7b: к 2030 г. расширить инфраструктуру и модернизировать технологии для современного и устойчивого энергоснабжения всех в развивающихся странах, в частности в наименее развитых странах, малых островных развивающихся государствах и развивающихся странах, не имеющих выхода к морю, с учётом их соответствующих программ поддержки

Источник: Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года. Резолюция принятая Генеральной Ассамблеей 25 сентября 2015 года // Организация Объединённых Наций: [сайт]. URL: https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=R (дата обращения: 10.07.2022)

вать как состоящую из главного целевого критерия, обязательных и дополнительных требований, а также особых условий. В краткой и развёрнутой формулировках целевого критерия, согласно материалам «Повестки» ООН, имеются некоторые различия: в развёрнутом варианте говорится о «современных» источниках энергии, а в кратком – о «чистых». К «чистым», а также «возобновляемым» в ряде стран (преимущественно – европейских) с определённого времени были приравнены ветро- и гелиогенерация (ВИЭ – возобновляемые источники энергии). К «грязным» были отнесены традиционные виды генерации: на основе

нефтепродуктов и угля, атомная энергетика, а также часть гидроэнергетики (относящуюся к «нерусловой»), а в перспективе – и газовая электроэнергетика.

Однако современные технологии позволяют в существенной мере обеспечить нейтральность в отношении окружающей среды традиционных видов электрогенерации за счёт комплекса технологических мероприятий, включая: утилизацию отходящего тепла и снижение тепловых выбросов; улавливание и утилизацию отходящего метана; улавливание и связывание оксидов углерода, оксидов азота, оксидов серы; нейтрализацию и ути-

лизацию зольных выбросов и отходов обогащения твёрдого топлива [1]. Потенциально для традиционной генерации может быть обеспечена нейтральность, превосходящая ВИЭ. Это нашло отражение на рисунке 1, где сделан выбор в пользу именно развёрнутой формулировки цели 7 согласно «Повестки» ООН (в пользу термина «современные технологии»).

Ключевым показателем в составе целевого критерия энергоперехода является невысокая стоимость электроэнергии у потребителя, поэтому уместно определиться в том, насколько недорого электроэнергия в России, вступающая в энергопереход, с одной стороны, и в ряде ведущих индустриальных стран, где решающие шаги к «новой электроэнергетике» уже сделаны, с другой стороны. Ответ на этот вопрос является довольно неожиданным, причём наиболее точно его отражают данные по стоимости электроэнергии низкого напряжения у конечного потребителя (население, социальная сфера и малый бизнес). Именно ценами этой группы потребителей формируется база социальной устойчивости, поощряется первичная предпринимательская активность, стимулируется спрос на ряд важных групп товаров.

Многолетние данные указывают на то, что российские конечные потребители вполне обеспечены недорогой электрической энергией и занимают в этом отношении одну из лучших позиций в мире; а в условиях глобального энергетического кризиса, проявившегося во второй половине 2021 г., российские позиции только упрочились. По состоянию на середину 2022 г. в большинстве европейских стран номинальная стоимость электроэнер-

гии была в несколько раз выше, чем в России (в Германии – выше в 5,4 раз); при том, что потребить электроэнергию на среднюю российскую зарплату можнократно больше, чем в той же Германии, а также большинству стран Южной и Восточной Европы. Следует также принять во внимание, что в России намного ниже фискальная нагрузка на начисленную заработную плату, это же относится к социальным отчислениям из зарплаты [2]. Для домохозяйств Японии электроэнергия обходится не менее дорого, чем в зарубежной Европе; а на японскую среднемесячную заработную плату можно потребить электроэнергии примерно столько же, как и на российскую¹. В США и Канаде в середине 2022 г. цена электроэнергии сохранялась на уровне, который в наибольшей мере продолжал соответствовать критерию «недорогая энергия»². Переходя от оценки ценовой доступности электроэнергии к оценке по паритету покупательной способности (ППТ), можно убедиться, что по состоянию на начало 2022 г. в ценах по ППТ электроэнергия в России не дороже, чем в США, а дешевле она только в Канаде и Норвегии (на 5–10%) [5]. Очевидно, что потребители в России устойчиво обеспечиваются недорогой электроэнергией в полном объёме (за самым редким исключением) и по вполне доступной цене. В процессе начавшегося в России

¹ Gillespie T., Rocha P. A. Europe Power Prices Set to Climb Even Higher After Record Month // Bloomberg: [сайт]. URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-07-29/europe-power-prices-set-to-climb-even-higher-after-record-month> (дата обращения: 11.08.2022).

² Мировая энергетика [Электронный ресурс]. URL: <https://www.eeseaec.org> (дата обращения: 17.08.2022).

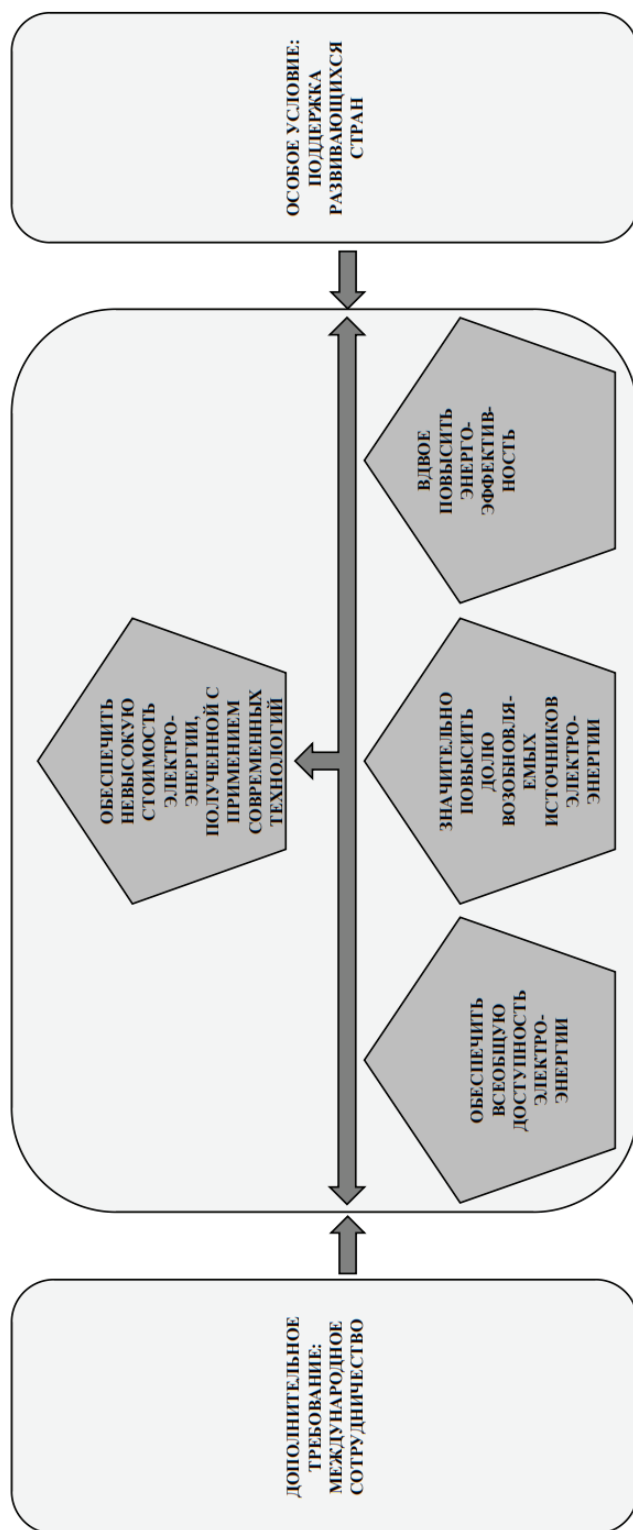


Рис. 1 / Fig. 1. Целевая структура современного этапа энергоперехода на период с 2016 года до 2030 г. / Target structure of the current stage of energy transition for the period from 2016 to 2030

Источник: составлено автором по материалам резолюции Генеральной ассамблеи ООН от 25 сентября 2015 г.

энергоперехода это положение, заданное «Повесткой» ООН, должно, безусловно, соблюдаться.

Особенности энергоперехода, выполненного в электроэнергетике Германии

В отличие от России, большинство европейских стран, включая ряд традиционных индустриальных лидеров, таких, как Германия, не представляется возможным отнести к вполне благополучным по критерию «недорогой энергии»; причём вслед за Германией даже более энергообеспеченная Франция фактически покинула зону «недорогой энергии» непосредственно в течение 2022 г.¹. Причину энергетических проблем Германии можно видеть в активных действиях по энергопереходу, предпринимавшихся последние два десятилетия, которые (что сейчас очевидно) имели неверную общую направленность и выполнялись весьма рискованным образом. Задолго до того, как в рамках ООН были согласованы и приняты цели устойчивого развития для энергетики, в Германии (а вместе с ней в ряде соседних стран) была принята к реализации гораздо более радикальная доктрина, в которой доминировало целеполагание, предусматривающее практически полную замену традиционных видов электрогенерации на так называемые «новые» (они же возобновляемые) виды, а именно ветро- и гелиоэнергетическую. Было провозглашено априори, что новые виды генерации

являются «чистыми и зелёными», а традиционная генерация была отвергнута как таковая (как неисправимо «грязная»). Радикальную направленность энергоперехода для электроэнергетики Германии можно выразить схематично, используя и трансформируя целевую конструкцию, принятую ООН в 2015 г. (рис. 2). Примечательно, что германская целевая модель энергоперехода вполне определилась уже к 2005 г., а к настоящему времени электроэнергетика Германии уже находится в новом (постпереходном) состоянии, которое демонстрирует признаки глубокого системного кризиса.

Электроэнергетика Германии в процессе энергоперехода претерпела радикальные изменения. Ещё на рубеже 90-х гг. прошлого века были ликвидированы 2 восточногерманские АЭС. В «нулевые» годы было принято фатальное решение об отказе от атомной энергетики на перспективу; однако в этот период она лишь немного сократилась до уровня примерно 20 ГВт. На начало 2020 г. числилось всего 8,1 ГВт установленной мощности атомных энергоблоков, а на начало 2022 г. – уже примерно вдвое меньше². В начале февраля 2022 г. Еврокомиссия отказалась от жёсткой антиядерной позиции – атомной энергетики, которой был присвоен статус «климатически дружественной» на обозримый период³. Однако в Германии в этом году

¹ Gillespie T., Rocha P. A. Europe Power Prices Set to Climb Even Higher After Record Month // Bloomberg: [сайт]. URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-07-29/europe-power-prices-set-to-climb-even-higher-after-record-month> (дата обращения: 11.08.2022).

² Энергетический профиль Германии // Мировая энергетика: [сайт]. URL: <https://www.eeseaec.org> (дата обращения: 17.08.2022).

³ Таксономия Европейского Союза: Дополнительный закон о климате для ускорения декарбонизации: [Электронный ресурс]. URL: https://ec.europa.eu/info/publications/220202-sustainable-finance-taxonomy-complementary-climate-delegated-act_en (дата обращения: 17.07.2022).

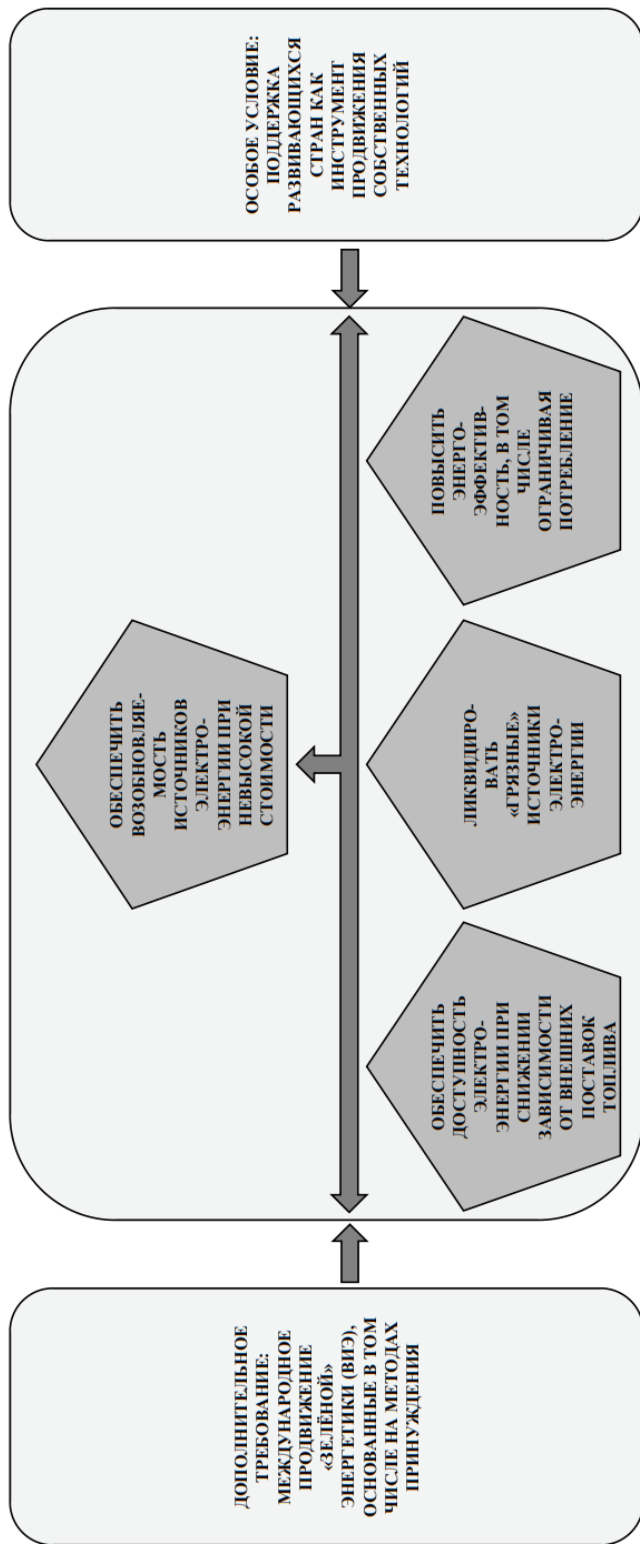


Рис. 2 / Fig. 2. Целевая структура энергоперехода в Германии для периода с 2005 по 2022 г. / Target structure of energy transition in Germany for the period from 2005 to 2022

Источники: составлено автором по Мировая энергетика: [сайт]. URL: <https://www.eesaec.org>; Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года. Резолюция принятой Генеральной Ассамблеей 25 сентября 2015 года // ООН: [сайт]. URL: https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=R (дата обращения: 10.07.2022)

выводятся из эксплуатации последние 3 атомных энергоблока, угольную генерацию предполагается свернуть к 2038 г., газовую – к 2050 г. Сокращение угольной генерации наглядно отражают данные по общему потреблению угля в Германии за этот период: 1991 г. – 407,8 млн т, 2015 г. – 264,2 млн т, 2020 г. – 151,8 млн т¹.

Согласно доктрине энергоперехода как денуклеаризации и декарбонизации, принятой в Германии (и изначально поддержанной Еврокомиссией и многими странами Европы), на смену «грязным» видам электрогенерации приходят ВИЭ, причём в масштабах, которые являются совершенно беспре-

цедентными, а последствия – настолько противоречивыми, что возникают обоснованные сомнения в их итоговом соответствии как «Повестке» ООН, так и (что действительно парадоксально) целям энергоперехода в какой-либо электроэнергетической системе вообще. Если в 1991 г. в Германии промышленное значение ВИЭ было ничтожно малым, то по состоянию на 2015/2020 гг., установленные мощности ВЭС достигли 44580/62188 мВт, СЭС – 39224/53721 мВт, превысив в совокупности половину от всех установленных мощностей германской электроэнергетики (рис. 3).

Можно утверждать, что к середине 2022 г. энергопереход «по-германски» свершился: ВИЭ получили абсолютный приоритет, как в наращивании

¹ Энергетический профиль Германии // Мировая энергетика: [сайт]. URL: <https://www.eeseaec.org> (дата обращения: 17.08.2022).

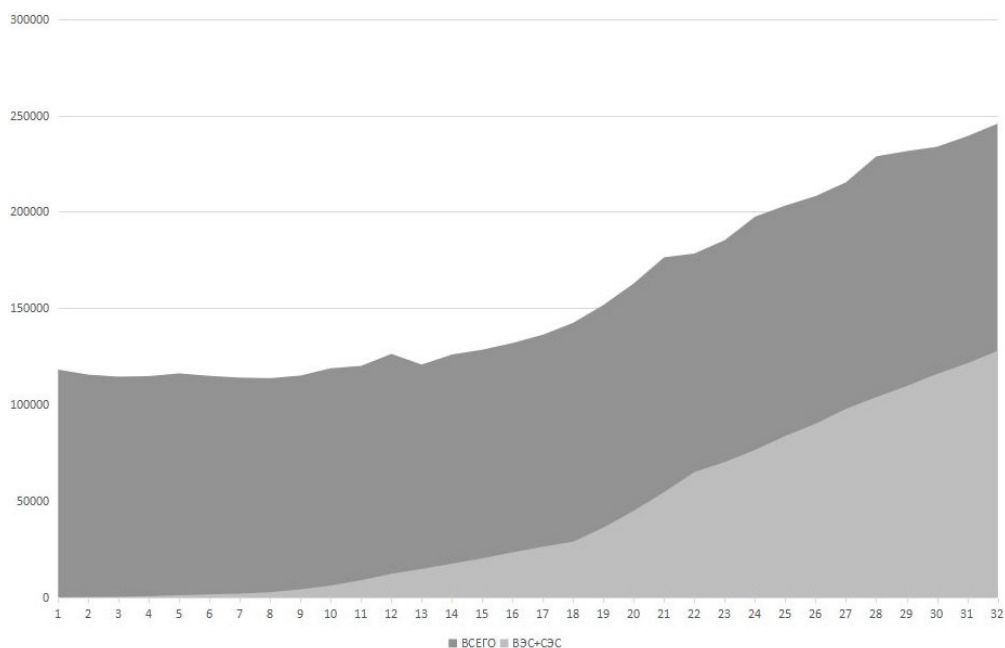


Рис. 3 / Fig. 3. Установленная мощность электростанций Германии за период с 1991 по 2022 гг., МВт / Installed capacity of German power plants for the period from 1991 to 2022, MW

Источник: составлено автором по Мировая энергетика [Электронный ресурс]. URL: <https://www.eeseaec.org> (дата обращения: 17.08.2022).

мощностей в дальнейшем, так и в доступе к общей сети для отпуска электроэнергии; остающаяся традиционная генерация переориентирована на поддержку ВИЭ. Прямым результатом такого энергоперехода стал беспрецедентный рост цены и существенные ограничения доступа к электроэнергии практически всех категорий потребителей; так что электроэнергетика Германии в её нынешнем состоянии перестала соответствовать критериям, установленным в «Повестке» ООН. ВИЭ-генерация, которой в принципе присуща большая суточная, сезонная и стохастическая нестабильность выдачи мощности, функционирует, как правило, непредсказуемо, а зачастую – хаотично. Коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) ВИЭ весьма невелик даже в лучших географических локациях (с техническим потенциалом ветровой и солнечной энергетики кратно более высоким), а в условиях Германии составляет порядка 24% для ВЭС и только 11% для СЭС [4], тогда как у атомных станций (по данным Всемирной ядерной ассоциации) в среднем по миру – свыше 80%, а на новых блоках в России прогнозируется около 90% [7].

Следствием переориентации энергетики Германии с традиционной электрогенерации на ВИЭ стало снижение числа часов использования установленной мощности электростанций с 5044 в 2003 г. до 2450 в 2020 г., т. е. более чем вдвое, и оно продолжает снижаться. Вот почему в Германии за период 1991–2020 гг. при совокупном росте установленной мощности генерации со 118 ГВт до 234 ГВт (если бы не были досрочно выведены сотни энергоблоков, то рост был бы при-

мерно в 2,5 раза) выработка электроэнергии почти не выросла (с 539 до 573 млрд кВт/ч, соответственно). Фондоотдача отрасли снизилась как минимум вдвое, а с учётом обширных землеотводов под ВИЭ снижение оказалось не менее чем трёхкратным¹.

К началу энергоперехода в Германии возлагались большие надежды на новые недорогие и экологически чистые технологии промышленной аккумуляции электроэнергии, которые позволили бы перераспределять пиковую выработку ВИЭ с мощностями порядка сотен ГВт; но таких аккумуляторов всё ещё нет и не ожидается их развёртывание на обозримую перспективу [7; 8]. Строительство «традиционных» гидроаккумулирующих станций (ГАЭС) в таких масштабах нереально ни по затратам, ни по срокам, ни по экологическим ограничениям [11]. В связи с этим энергосистема Германии, построенная на приоритете ВИЭ, потеряет остатки работоспособности, если в ней не будет компенсирующих мощностей, а это – тепловая генерация, только используемая «на подхвате».

Нельзя обойти вниманием то, что в новой энергосистеме Германии уже пришлось существенно усложнить структуру электропередачи, построив «вторую сеть» по сбору с объектов ВИЭ и передаче электроэнергии в центры потребления. При этом потери электроэнергии в сетях выросли кратно: с 2,50% в 1991 г. до 4,75%².

¹ Энергетический профиль Германии // Мировая энергетика: [сайт]. URL: <https://www.eeseaec.org/energeticeskij-profil-germanii> (дата обращения: 17.08.2022).

² Энергетический профиль Германии // Мировая энергетика: [сайт]. URL: <https://www.eeseaec.org/energeticeskij-profil-germanii> (дата обращения: 17.08.2022).

Разумеется, чем выше потери электроэнергии в сетях, тем выше стоимость электроэнергии у потребителя; однако потери электроэнергии – это ещё и постоянно действующий фактор теплового загрязнения окружающей среды. Во всяком случае, можно констатировать общее снижение энергоэффективности самой электроэнергетической системы, что идёт вразрез с критериями «Повестки» ООН. Немаловажно, что в новой германской энергосистеме из-за неритмичной работы оказывается весьма высоким износ головного оборудования (что ещё более снижает фондоотдачу), критично усложнилась работа диспетчерских служб, упала управляемость и общая надёжность.

Не выдерживает критики представление о «чистоте» ВИЭ, если рассматривать полный жизненный цикл этих технических систем. В Германии как на сами энергопарки, так и на линейные сетевые сооружения было израсходовано сотни миллионов тонн конструктивных материалов: полимеров, чёрных и цветных металлов, бетона и т. д.; в свою очередь, это потребовало колоссальных затрат энергоносителей и было сопряжено с вредным воздействием на окружающую среду. При реконструкции топливной генерации дополнительная потребность в конструктивных материалах всех видов была бы не столь высока и нагрузка на окружающую среду, соответственно, была бы гораздо ниже (вероятнее всего, на порядок). По сравнению с традиционной электроэнергетикой ВИЭ требуют существенного изъятия территориальных ресурсов, причём для ВЭС – не только на суше, но также и на акваториях. Если площади, которые необходимо занять для размещения

СЭС, сравнить с землеотводом под мини ТЭЦ (на природном газе), то изъятие территориальных ресурсов будет примерно в 100 раз большим, чем под ТЭЦ [4]. Не столь сложно обосновать «безвредность» освоения ветроэнергетического потенциала, например, малозаселённой Северной Шотландии (как береговой линии, так и собственно моря), который является одним из самых значительных в Европе и оценивается в 36,5 ГВт (порядка 25% всей энергии ветра Европы, не считая России). Однако далеко небесспорно принятое недавно решение германских энергетических властей установить ещё 115 башен ВЭС (общая мощность 1,1 гВт) недалеко от о. Рюген, у побережья Померании с его пляжной курортной зоной и дворцово-парковыми ансамблями, относящимися к всемирному наследию ЮНЕСКО¹.

Очевидно, что энергопереход, совершённый в Германии за последние 20 лет, не привёл к достижению базовых целей, поставленных в «Повестке» ООН, но имел прямо противоположные результаты. Экономика Германии оказалась перегружена непосильными инвестиционными вливаниями в электроэнергетический сектор в ущерб другим секторам, прежде всего инфраструктурным. В самой электроэнергетике инвестиции были израсходованы крайне нерационально, следствием чего стало многократное удорожание электроэнергии у конечного потреби-

¹ Мишнаевский Л. А. Оффшорная ветроэнергетика: проблемы и перспективы [Электронный ресурс] // Чистые технологии для устойчивого будущего Евразии / под ред. Е. Винокурова. URL: <https://globalenergyprize.org/ru/wp-content/uploads/2021/12/chistyye-tehnologii.pdf> (дата обращения: 30.08.2022).

теля. Экологическая нейтральность электроэнергетики также не была достигнута, поскольку жизненный цикл ВИЭ-энергетики сопряжён с некоторыми крайне негативными формами воздействия на географическую среду.

Совершённый в Германии энергопереход правильнее было бы называть не «зелёным», а «эрзац» (нем. *Ersatz* – «неполноценный заменитель») энергопереходом. Остаётся только предполагать, что спустя некоторое время, когда ошибочность «эрзац» решений будет осознана и признана, в Германии вновь будет восстановлена собственная добыча на максимальных уровнях энергетического бурого и каменного угля, и вообще произойдёт полная реабилитация карбоновой электроэнергетики (с современными технологиями улавливания и связывания углерода). Во всяком случае, потенциальные запасы собственного каменного угля в Германии оцениваются в величину порядка 8 млрд т, бурого угля – 34 млрд т, что совокупно приравнивается не меньше чем к 18–20 млрд т нефтяного эквивалента [2]. А это означает, что в перспективе на 30–40 лет (и до 100 лет) Германия могла бы обеспечивать себя первичной энергией за счёт угля примерно на 35% (при ожидаемом снижении численности населения с 83 млн чел. до 71 млн чел. и энергоэффективности, сравнимой с уже достигнутой [3; 10]. За счёт энергии воды, ветра и солнца можно будет покрывать ещё порядка 15% потребности в энергии, ещё 5–10% – за счёт биотоплива и прочих источников¹. Остальные 40% не-

избежно придётся импортировать, и, видимо, это по-прежнему будет природный газ.

Возвращение германской электроэнергетики к традиционной отраслевой структуре можно ожидать не только потому, что в текущем состоянии она является крайне неустойчивой и подверженной множеству рисков (природных, техногенных, социальных, внешнеэкономических и внешнеполитических), но также и потому что, на призывы «делай как я в электроэнергетике» (при видимой поддержке Евросоюза), Германия на деле не получила должных безоговорочных последователей ни в рядах ведущих промышленных стран самого Евросоюза, ни, за редким исключением, в числе большинства иных крупнейших экономик.

Особые черты энергоперехода в электроэнергетике ряда ведущих промышленных стран

Как уже отмечалось, последователей «эрзац энергоперехода», подобного тому, который был реализован в электроэнергетике Германии, в мире удаётся найти не так уж много; ветро- и гелиогенерация, как правило, развиваются там и в тех масштабах, где это целесообразно как по экологическим, так и по технико-экономическим критериям, а продуманное включение некоторой доли ВИЭ в общий комплекс генерирующих мощностей не приводит к разбалансировке и деградации электроэнергетических систем. Совокупная доля угольной, углеводородной и атомной генерации во многих европейских странах все последние десятилетия оставалась «традиционно» высокой. В таблице 2 дана качественная оценка

¹ Прим.: Это экспертная оценка автора, основанная на представлении об оптимальном вовлечении в хозяйственный оборот внутренних и импортных энергоресурсов.

Таблица 2 / Table 2

Характер энергетического перехода в ряде ведущих стран мира / Nature of the energy transition in a number of leading countries of the world

Страна	Доля угольной, углеводородной и атомной генерации в 2020 г., %		Характер энергетического перехода
	Установленная мощность	Выработка электро энергии	
Германия	45,7	63,7	Радикально зелёный (эрзац энергопереход)
Великобритания	59,7	54,1	Радикально зелёный (эрзац энергопереход)
Франция	59,4	77,2	Умеренно зелёный энергопереход (с тенденциями к восстановлению ведущей роли атомной генерации)
США	77,2	70,2	Эволюционный энергопереход
Мексика	70,7	80,7	Эволюционный энергопереход
Япония	62,9	73,2	Эволюционный энергопереход (с восстановлением атомной генерации)
Китай	61,6	73,7	Эволюционный энергопереход
Индонезия	87,7	88,3	Ранняя стадия эволюционного энергоперехода
Австралия	62,2	81,6	Ранняя стадия радикально зелёного (эрзац энергоперехода)
Индия	61,5	75,0	Эволюционный энергопереход
Египет	91,5	90,0	Ранняя стадия эволюционного энергоперехода
Россия	79,6	80,0	Завершена подготовка к энергопереходу

Источник: Мировая энергетика [Электронный ресурс]. URL: <https://www.eeseaec.org> (дата обращения: 17.08.2022).

характера энергоперехода для ряда ведущих стран мира, полученная путём сравнительного анализа.

Поскольку энергопереход в Германии является образцом того, как его делать нельзя ни при каких условиях, в таблице 2 (колонка 4) он обозначен как «радикально зелёный» или «эрзац энергопереход». Энергопереход такого же характера, как в Германии, и с такими же негативными последстви-

ями реализован в Великобритании; некоторое различие состоит, пожалуй, только в том, что ветроэнергетика этой островной страны по естественно-природным причинам заметно более эффективна (ветроэнергетический класс местности намного выше), чем в Германии.

Траектория энергоперехода во Франции специфична тем, что буквально в последние год-полтора на

общественно-политическом уровне были предприняты чрезвычайные меры изменить его «эрзац-зелёную» направленность и отвести энергетику «от края пропасти». Для этого потребовалось вернуть лояльное отношение к атомной генерации, которая служила основой энергосистемы Франции, начиная с 70-х гг. прошлого века (нефтяной кризис) и вплоть до начала текущего столетия, развитие которой, по сути, было искусственно стагнировано в 1999 г., новые энергоблоки не закладывались с 2007 г., а на 2024–2026 гг. намечались ликвидационные процедуры применительно к ещё остающимся и вполне работоспособным энергоблокам. Радикальное переоценка путей энергоперехода во Франции произошла в ходе предвыборной компании в феврале 2022 г., когда её президентом было заявлено о «восстановлении контроля над энергетической судьбой Франции». Из этих слов следует, что на ряд лет такой контроль во Франции был потерян, и даже если он будет восстановлен, то с немалым ущербом для общего индустриального потенциала. Начать строить новые атомные энергоблоки Франция будет в состоянии только с 2028 г., приступить к их эксплуатации – только с 2035 г. Восстановить вполне жизнеспособный энергетический профиль в этой стране получится только в 40-е гг. XXI в. Таковы последствия не самого радикального подварианта «эрзац энергоперехода» [9] (самый радикальный, разрушительные последствия которого вообще труднопредсказуемы, в Германии и Великобритании).

В США, ведущей экономике западного мира, в отличие от «радикально зелёной» части Европы традиционная

электроэнергетика развивается без каких-либо признаков искусственного давления на неё и находится в тех позициях (а это не менее 70% выдачи электроэнергии в сеть), которые обеспечивают системную устойчивость. К тому же следует учесть, что именно в США технологии ВЭС и СЭС получили достаточно широкое развитие раньше чем где бы то ни было, но для них была предназначена оптимальная ниша (с учётом географических условий этой страны): до 15% установленной мощности, до 10% выработки. Видимо, доля ВИЭ ещё несколько вырастет, но нет никаких оснований ожидать, что эти виды генерации начнут преобладать в электроэнергетике, поскольку им предназначено место дополняющих компонентов, которые повышают общую системную эффективность, но не в ущерб традиционной генерации, росту производительности и мероприятиям по повышению экологической нейтральности, которые являются главными приоритетами энергоперехода. Такой характер энергоперехода вполне может быть определён как «эволюционный».

По эволюционному сценарию осуществляется энергопереход в Мексике, электроэнергетика которой находится в «энергетическом симбиозе» с юго-западными штатами США. Этот же тип энергоперехода (табл. 2), реализуется и в большинстве наиболее крупных экономик Азии, разумеется, со своими особенностями в каждой. Индонезия и Египет только вступили на траекторию энергоперехода. Китай и Индия осуществляют энергопереход по очень похожим вариантам эволюционного сценария, в которых ускоренно наращиваются не только ВЭС и СЭС (до

уместного уровня, исходя из природно-географических особенностей) [6], но и приоритетное значение придаётся АЭС, поскольку для этих стран, главных локомотивов экономики текущего столетия, атомная энергетика традиционной пока не является. Для Японии чрезвычайно актуальным является быстрый перезапуск атомной энергетики (с соблюдением самых высоких требований промышленной безопасности, принятых после событий на АЭС «Фукусима-1»). Попытка Австралии пойти по германскому пути (но под «брендом» ВИЭ от корпорации Илона Маска) привела к крайне негативным промежуточным результатам, включая многократный перерасход инвестиций, резкий рост цен на электроэнергию и приостановку деятельности энергорынка¹. И этот пример только подтверждает вывод о принципиальной пагубности эрзац энергоперехода.

В таблицу 2 не включены те страны, в электроэнергетике которых особо высокую роль играет гидрогенерация, например, таких, как Канада и Бразилия. В этой связи можно говорить об энергопереходе с опорой на гидропотенциал, который, в зависимости от потребностей соответствующих территорий, протекает по специфичным сценариям. Для энергоперехода в Канаде является характерной стабильность этого процесса в течение последних, по крайней мере, 15 лет, благодаря высокой доле выработки электроэнергии на ГЭС: 2005 г. – 59,8%, 2020 г. – 61,9%; прогноз на 2035 г. – 59,1%. И только на

2050 г. ожидается некоторое снижение доли ГЭС в выработке электроэнергии – до 51%. При этом в абсолютном выражении производство электроэнергии на ГЭС за обозримый период вырастет с 360 млрд кВт/ч до 450 млрд кВт/ч. Такая стратегия энергоперехода позволяет поступательно наращивать мощности и выработку электроэнергии ВИЭ – выработка немногим более 20% в 2050 г. (в 2020 – меньше 6%). В электробалансе произойдёт практически полное замещение угольной генерации (в 2050 г. её будет меньше 0,1%), при том, что выработка электроэнергии из природного газа в абсолютном выражении будет довольно стабильной и будет варьироваться в интервале 70–80 млрд кВт/ч².

Энергопереход в Бразилии примечателен тем, что «поддерживающая» роль гидроэнергетики в нём ещё более выражена, чем в Канаде. За последние 2 десятилетия среднегодовая выработка электроэнергии ГЭС в Бразилии остаётся на уровне около 400 млрд кВт/ч. Весьма интенсивно развиваются ветроэнергетика и, что характерно, биоэнергетика. Совокупная доля этих двух видов генерации выросла за 20 лет примерно с 5% до 20% всей выработки электроэнергии³. Таким образом, можно утверждать, что энергопереход в бразильской электроэнергетике осуществляется вполне рациональным путём: в нём задействованы все доступные природные и технологические возможности, а доля возобновляемых источников получаемой электроэнер-

¹ Энергетическое античудо в Австралии // Институт развития технологий ТЭК: [сайт]. URL: <https://irttek.ru/articles/energeticheskoe-antichudo-v-australii.html> (дата обращения: 30.08.2022).

² Энергетический профиль Бразилии // Мировая энергетика: [сайт]. URL: <https://www.eeseaec.org/energeticeskij-profil-brazilii> (дата обращения: 17.08.2022).

³ Там же.

гии довольно высока и имеет тенденцию к умеренному увеличению.

Очевидным содержанием энергоперехода, реализуемого в рамках формирования глобальной Индустрии 4.0, является существенная трансформация мировой электроэнергетики на современной технологической основе, однако результаты энергоперехода являются положительными далеко не во всех странах. Некоторые из стран, исторически занимавших лидирующие позиции в электроэнергетике со времён её возникновения (прежде всего, Германия и Великобритания, отчасти – Франция), пришли в конце 2021 г. к системному энергетическому кризису, отрасль утратила свою прежнюю управляемость, надёжность и эффективность; и глубина этого кризиса продолжает увеличиваться. Вместе с тем другие группы стран (США, новые индустриальные страны, но не только) проходят этапы процесса создания современной электроэнергетики вполне уверенно.

Заключение

В российской электроэнергетике к настоящему времени завершена подготовка к энергопереходу, согласно «Повестки устойчивого развития» ООН. Сделаны первые шаги в направлении создания современной, экологически чистой, обеспеченной исходными ресурсами энергетики, способной надёжно снабжать российских потре-

бителей недорогой и доступной электрической энергией. Есть основания полагать, что энергопереход в России будет происходить преимущественно путём расширенного воспроизводства на принципиально новом техническом уровне традиционных видов генерации (при ведущей роли атомной генерации на основе замкнутого топливного цикла). Место в обновлённой российской электроэнергетике таких видов получения энергии, как ветро- и гелиогенерация подлежит уточнению и, вероятно, корректировке во избежание очевидных существенных просчётов, которые были совершены (и продолжают усугубляться) в процессе энергоперехода в Германии, Великобритании и некоторых других странах. Не меньшего внимания заслуживают, разумеется, положительные примеры энергоперехода в таких странах, как Канада, США, Китай, Индия и ряда других. По всей видимости, в процессе энергоперехода российской электроэнергетики на каждом его этапе будет приобретать актуальность позитивный либо негативный опыт тех или иных стран; и уже сейчас имеются основания признать одну часть сценариев энергоперехода недопустимыми в российских условиях, а другую часть – перспективными для углублённого изучения и возможного использования лучших решений.

Статья поступила в редакцию 29.08.2022

ЛИТЕРАТУРА

1. Битюкова В. Р., Дехнич В. С., Петухова Н. В. Влияние ГРЭС на загрязнение воздуха городов России // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2021. № 4. С. 38–51.
2. Букина И. С., Смирнов А. И. Направления налоговой политики России и возможность снижения налоговой нагрузки на отечественных производителей, ориентированных на внутренний рынок // Налоговая политика. 2020. № 4. С. 104–119.

3. Воробьёв Б. М. Германия // Воробьёв Б. М. Уголь мира. Т. III. Уголь Евразии. М.: Горная книга, 2013. С. 49–85.
4. Горячев В. Я., Михайлов С. А., Голобоков С. В. Оптимизация структуры солнечной электростанции // Развивая энергетическую повестку будущего: сб. докладов Международной научно–практической конференции. СПб: ЛЭТИ, 2021. С. 196–201.
5. Долматов И. А., Сасим С. В. Оценка состояния конкуренции на оптовом рынке электроэнергии. Отрасли и межотраслевые комплексы // Проблемы прогнозирования. 2022. № 2. С. 94–104.
6. Нефёдова Л. В., Рафикова Ю. Ю. Статистические оценки климата и ГИС-технологии при анализе рисков в гелиоэнергетике // Энергетическая политика. 2021. № 4 (158). С. 44–53.
7. Рачков В. И., Муравьёв Е. В., Каширский А. А. Сценарии оптимального развития ядерной энергетики России // Белая книга ядерной энергетики / под ред. Е. О. Адамова. М.: НИКИЭТ, 2020. С. 441–447.
8. Сысенко Н. Г., Титков А. А., Рейхерт Н. Д. и др. Об экологичности электромобилей // Инженерный вестник Дона. 2022. № 1. С. 1–9.
9. Шульга И. И. Изображая жертву // Атомная энергия. Атомный эксперт. 2022. № 6 (99). С. 49–55.
10. Ходов Л. Г. Население ведущей страны Западной Европы: естественная убыль, иммиграция // Горизонты экономики. 2020. № 4 (57). С. 91–96.
11. Geographic information system algorithms to locate prospective sites for pumped hydro energy storage / B. Lu, M. Stocks, A. Blakers, K. Anderson // Applied Energy. 2018. № 222. P. 300–312.

REFERENCES

1. Bityukova V. R., Dekhnich V. S., Petukhova N. V. [The impact of a state district power plant on air pollution in Russian cities]. In: *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya* [Bulletin of Moscow University. Series 5: Geography], 2021, no. 4, pp. 38–51.
2. Bukina I. S., Smirnov A. I. [Directions of the tax policy of Russia and the possibility of reducing the tax burden on domestic producers focused on the domestic market]. In: *Nalogovaya politika* [Tax policy], 2020, no. 4, pp. 104–119.
3. Vorobëv B. M. [Germany]. In: Vorobëv B. M. *Ugol' mira. T. III. Ugol' Yevrazii* [Coal of the world. Vol. III. Coal of Eurasia]. Moscow, Gornaya kniga Publ., 2013. P. 49–85.
4. Goryachev V. Ya., Mikhailov S. A., Golobokov S. V. [Optimization of the structure of a solar power plant]. In: *Razvivaya energeticheskuyu povestku budushchego: sb. dokladov Mezhdunarodnoi nauchno–prakticheskoi konferentsii* [Developing the energy agenda of the future: a collection of reports of the International Scientific and Practical Conference. St. Petersburg, LETI Publ., 2021. P. 196–201.
5. Dolmatov I. A., Sasim S. V. [Assessment of the state of competition in the wholesale electricity market. Industries and cross-industry complexes]. In: *Problemy prognozirovaniya* [Forecasting problems], 2022, no. 2, pp. 94–104.
6. Nefedova L. V., Rafikova Yu. Yu. Statistical estimates of climate and GIS technology in the analysis of risks in helioenergy]. In: *Energeticheskaya politika* [Energy policy], 2021, no. 4 (158), pp. 44–53.
7. Rachkov V. I., Muravëv E. V., Kashirsky A. A. [Scenarios for the optimal development of nuclear energy in Russia]. In: Adamov E. O., ed. *Belaya kniga yadernoi energetiki* [White Book of Nuclear Energy]. Moscow, NIKIET Publ., 2020. P. 441–447.
8. Sysenko N. G., Titkov A. A., Reichert N. D., etc. [On the sustainability of electric vehicles]. In: *Inzhenernyi vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don], 2022, no. 1, pp. 1–9.

9. Shulga I. I. [Depicting the victim]. In: *Atomnaya energiya. Atomnyiy ekspert* [Atomic energy. Atomic expert], 2022, no. 6 (99), pp. 49–55.
10. Khodov L. G. Population of the leading country in Western Europe: natural decline, immigration]. In: *Gorizonty ekonomiki* [Horizons of the economy], 2020, no. 4 (57), pp. 91–96.
11. Lu B., Stocks M., Blakers A., Anderson K. Geographic information system algorithms to locate prospective sites for pumped hydro energy storage. In: *Applied Energy*, 2018, no. 222, pp. 300–312.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Обухов Павел Андреевич – кандидат географических наук;
e-mail: obukhov.pa@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Pavel A. Obukhov – Cand. Sci. (Geography);
e-mail: obukhov.pa@yandex.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Обухов П. А. Особенности энергетического перехода в электроэнергетике отдельных стран мира // Географическая среда и живые системы. 2022. № 3. С. 102–119.
DOI: 10.18384/2712-7621-2022-3-102-119

FOR CITATION

Obukhov P. A. Features of energy transition in electricity power industry of some countries of the world. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2022, no. 3, pp. 102–119.
DOI: 10.18384/2712-7621-2022-3-102-119