

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ



DOI: 10.26794/2404-022X-2021-11-1-35-50

УДК 338.242.4(045)

JEL L94, O38, Q42

Технологические детерминанты трансформации возобновляемой энергетики и государственной поддержки развития энергетической отрасли

О.И. Маликова^а, П.А. Кирюшин^б, А.В. Николаева^с^{а, б, с} Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия^а <https://orcid.org/0000-0002-0122-0940>; ^б <https://orcid.org/0000-0003-2984-295X>;^с <https://orcid.org/0000-0002-5901-3020>

АННОТАЦИЯ

Разработка эффективных механизмов поддержки технологических инноваций является одной из важных задач современной системы управления. В данной статье обобщаются результаты внедрения новых технологий, обеспечивших прорыв в развитии возобновляемых источников энергии и повлекших за собой вытеснение с рынка традиционных углеводородных источников топлива. На основе обобщения данных и использования системного анализа рассматриваются следующие прорывные технологии: цифровизация, новые электросети, рынок батарей, хранение электроэнергии, электрификация конечных секторов энергопотребления. Приводится описание технологий и показывается влияние данных технологий на развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Также приведен перечень инновационных технологий, которые будут иметь решающее значение на рынке в ближайшем будущем: новые технологии и ВИЭ (морская солнечная и ветряная энергетика, реактор с расплавленной солью, волновое энергетическое устройство). В заключительной части анализируются перспективы развития инновационных технологий в России с точки зрения государственной поддержки, существующих инициатив и проблем при внедрении. На основании проделанного анализа, а также успешного опыта Китая и Германии предложены рекомендации по поддержке новых энергетических технологий в России. Отмечается, что, несмотря на наличие значительного исследовательского потенциала в 60–80-е гг. XX в., современное развитие новых технологий в сфере возобновляемой энергетики в нашей стране пока находится на начальном этапе развития. Обосновывается целесообразность поддержки внедрения перспективных технологий и комплекса мер, упрощающих трансфер и внедрение новых технологий. Поскольку одной из ключевых проблем современного экономического развития России является низкий платежеспособный спрос, для поддержки внедрения перспективных технологий предлагается субсидирование со стороны государства части затрат на приобретение нового оборудования.

Ключевые слова: новые технологии; энергетика; энергетический переход; цифровизация; ВИЭ; государственная поддержка; интернет вещей

Для цитирования: Маликова О.И., Кирюшин П.А., Николаева А.В. Технологические детерминанты трансформации возобновляемой энергетики и государственной поддержки развития энергетической отрасли. *Управленческие науки = Management Sciences in Russia*. 2021;11(1):35-50. DOI: 10.26794/2404-022X-2021-11-1-35-50

ORIGINAL PAPER

Technological Transformation Determinants of the Renewable Energy and its Government Support

O.I. Malikova^а, P.A. Kiryushin^б, A.V. Nikolaeva^с

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

^а <https://orcid.org/0000-0002-0122-0940>; ^б <https://orcid.org/0000-0003-2984-295X>;^с <https://orcid.org/0000-0002-5901-3020>

ABSTRACT

The development of effective mechanisms to support the introduction of new technologies is one of the important tasks of a modern management system. The paper summarizes the results of the introduction of new technologies that provided a breakthrough in the development of renewable energy sources (RES) and resulted in the displacement

© Маликова О.И., Кирюшин П.А., Николаева А.В., 2021

of traditional hydrocarbon fuel sources out of the market. The following breakthrough technologies which have been based on the data generalization and system analysis are considered as: digitalization, new power grids, the battery market, electricity storage, electrification of the final sectors of energy consumption. There have been given a description of technologies that showed their influence on the development of renewable energy sources. The paper provides a list of innovative renewable energy technologies that will play a decisive role in the market in the near future: new technologies together with renewable energy sources (marine solar and wind energy, a molten salt reactor, a wave energy device). The final part analyzes the prospects for the development of innovative technologies in Russia from the point of view of the government support as well as existing initiatives and implementation problems. Based on the analysis performed and the successful experience of China and Germany, there have been proposed recommendations for supporting new energy technologies in Russia. Remarkable that despite the presence of significant research potential in the 60–80s of the XX century, the modern development of new technologies in the field of renewable energy is still at the initial stage of development. The paper substantiated the expediency of supporting the introduction of promising technologies and a set of measures to facilitate the transfer and introduction of new technologies. Due to one of the key problems of modern economic development in Russia is low effective demand, there is proposed to subsidize part of the cost of purchasing new equipment from the state in order to support the introduction of promising technologies.

Keywords: new technologies; energy; energy transition; digitalization; renewable energy sources; governmental support; Internet of Things (IoT)

For citation: Malikova O.I., Kirtushin P.A., Nikolaeva A.V. Technological transformation determinants of the renewable energy and its government support. *Upravlencheskie nauki = Management Sciences in Russia*. 2021;11(1):35-50. (In Russ.). DOI: 10.26794/2404-022X-2021-11-1-35-50

Введение

Четвертая энергетическая революция привела к изменению тенденций развития топливно-энергетического комплекса (ТЭК): наметился сдвиг от использования традиционных топливных энергоносителей — углеводородов, к зеленой энергетике, где особое значение имеют возобновляемые источники энергии (ВИЭ). ВИЭ являются ключевым энергетическим решением в борьбе с изменением климата. Лишь развитие возобновляемой энергетики и внедрение мер по повышению энергоэффективности позволят сократить парниковые выбросы на 90% к 2050 г.

Вместе с тем широко известны проблемы возобновляемой энергетики: сезонность выработки, зависимость от погоды. До некоторого времени ВИЭ также демонстрировали экономическую неэффективность и, как необходимое следствие для выживания на рынке ТЭК, зависимость от государственной поддержки. Интеграция ВИЭ в энергетические системы стала возможной благодаря развитию электросетевого хозяйства, мерам по управлению спросом (установка многотарифных счетчиков и гибкость цен на электроэнергию), развитию технологий хранения энергии, а также отраслевому взаимодействию и гибкому производству электроэнергии на традиционных электростанциях. Патентная деятельность в области ВИЭ свидетельствует о значительном развитии в последние годы инноваций, а число выданных патентов росло с темпами более 12% в год, что сильно

опережало рост количества технологических инноваций в других секторах. Период бурного развития инноваций совпадает с выходом ВИЭ на лидирующие позиции на рынке.

Преодолению несовершенств новых источников энергии и выходу на лидирующие позиции на рынке способствовало развитие технологий, повышающих конкурентоспособность ВИЭ и улучшающих инвестиционный климат. Отраслевые инновации — ключевая причина активного внедрения технологий ВИЭ как самого динамичного сегмента современного энергетического рынка.

Одновременно успех в развитии ВИЭ и быстрое увеличение ее доли в энергобалансе были связаны с масштабной государственной поддержкой, оказывавшейся новым технологиям в европейских странах. Закупки зеленой электроэнергии по более высоким ценам, субсидии компаниям, переходящим на использование новых технологий, заметно помогли отрасли на первых этапах развития.

В рамках исследования авторами ставится задача выявить и систематизировать ключевые технологии, определяющие тренды развития ВИЭ и предложить меры государственной поддержки энергетической отрасли, способствующие ускорению энергетического перехода.

В статье рассматриваются инновации, которые обеспечили переход к использованию ВИЭ, способствовали росту спроса на новые источники энергии и вытеснению углеводородов. Раскрывается влияние

инновации на развитие, конкурентоспособность на рынке и экономическую привлекательность новых источников энергии. В заключительной части статьи обосновываются методы государственной поддержки внедрения новых технологий в сфере ВИЭ.

Новизна исследования заключается в выявлении и систематизации новых технологий, определяющих современный этап развития рынка электроэнергетики и выбор методов государственной поддержки технологической модернизации отрасли.

Исследование базируется на использовании методов системного анализа, обобщении широкого круга научных источников, отражающих процессы внедрения новых технологий в сфере возобновляемой энергетики, государственную поддержку внедрения новых технологий.

Современные исследования влияния технологических инноваций на развитие ВИЭ: акцент на количественных методах анализа

В современной экономической литературе широко обсуждается влияние технологических инноваций на развитие современной энергетики. Важно отметить, что акцент в исследованиях и применяемом исследовательском аппарате сегодня часто ставится на использовании количественных методов анализа. В статье Р. Шмидта и Р. Марчинского для описания технологического прорыва используется модель частичного равновесия производства энергии [1]. Результаты исследования показывают, что существует два состояния экономики: с высоким уровнем производства ВИЭ и низким. Переход к более благоприятному состоянию относительно возобновляемой энергетики характеризует скачкообразный рост активности в исследовательском секторе R&D (Research and Development) и рост инвестиций в ВИЭ. Переход к использованию ВИЭ могут обеспечить: увеличение спроса на энергоносители, сокращение предложения традиционных топливных источников энергии или государственные меры поддержки. Интересно также, что меры по повышению энергоэффективности могут негативно влиять на стимулы к энергетическому переходу, так как имеют тенденцию к смягчающему эффекту на цены на энергоресурсы. В результате меры по поддержке энергоэффективности должны сопровождаться другими дополнительными мерами, направленными на восстановление стимулов к инвестированию в ВИЭ. Результаты анализа так-

же показали существование рыночного провала как следствия несовпадения социального и рыночного оптимума.

В статье Я. Чжэмин, Ц. Баолин, Д. Керуй, К. Ли посредством эмпирических моделей проводится анализ влияния инноваций в возобновляемой энергетике на зеленую политику Китая [2]. Расчеты авторов позволили сделать вывод, что технологические инновации играют значительную роль лишь тогда, когда относительный уровень дохода в регионе достигает определенного уровня, проходит через критическую точку. После достижения определенного уровня доходов эффективность технологических инноваций возрастает.

В исследовании Н. Бамати и А. Раофи также продемонстрировалась зависимость определяющих ВИЭ факторов (технологических, экономических, экологических) от уровня дохода страны [3]. Одновременно расчеты этого исследования позволили подтвердить, что производство возобновляемой энергии в значительной степени определяется экспортом современных технологий в развитые страны.

В статье Ч.-Ц. Су, М. Умар и Ц. Кхан авторы пришли к следующим выводам: экологические инновации способствуют расширению энергетического потребления посредством ВИЭ и снижению использования традиционных энергоносителей — углеводородов [4]. Также авторами был сделан вывод, что передача ответственности и власти местным государственным органам приведет к повышению энергоэффективности и переключению энергобаланса на более устойчивые источники энергии. Схожий результат был получен при анализе энергетического баланса в скандинавских странах М. Ирандоустом. Его гипотезы демонстрировали однонаправленную причинно-следственную связь от технологических инноваций в ВИЭ, что свидетельствует о важности инноваций для развития возобновляемой энергетики [5].

Широко исследовано влияние энергетических технологий в сфере ВИЭ на выбросы CO₂. Б. Ли и Дж. Цу показали влияние технологических инноваций на снижение выбросов CO₂, которое усиливается с расширением генерации в возобновляемой энергетике [6]. К похожим выводам пришли В. Шен и Ю. Лей [7]. Результаты их исследования показали, что страны с высоким уровнем загрязнения воздуха ограничены возможностями сокращения выбросов из-за меньшей доли использования ВИЭ. Тем не менее технологические инновации влияют наиболее заметно именно на страны с относительно высокими выбросами CO₂.

В статье Т. Ву, Ш. Янг и Дж. Тан показали, что государственные субсидии на исследования и разработки сферы ВИЭ могут заметно ускорить инвестирование в ВИЭ и повысить вероятность привлечения венчурного капитала [8].

Таким образом, в большинстве современных исследований отмечается тесная взаимосвязь между внедрением технологических инноваций и развитием ВИЭ, показывается, что успешное развитие ВИЭ требует определенного, достаточно высокого уровня доходов потребителей, обосновывается неоднозначное влияние мер государственной поддержки на развитие новых технологий в распространение электрогенерации на основе использования ВИЭ.

В России в последние годы наблюдается рост интереса к раскрытию взаимосвязей между внедрением новых технологий, изменением структуры энергетического комплекса и развитием ВИЭ. Прежде всего, важно отметить два фундаментальных исследования, подготовленных ИНЭИ РАН, — «Роль научно-технического прогресса в развитии энергетики России» и «Перспективы развития мировой энергетики с учетом влияния технологического прогресса» [9, 10]. Отдельные аспекты влияния внедрения цифровых технологий на развитие энергетики рассматривались в исследованиях Н. И. Воропая, М. В. Губко, С. П. Ковалева, Л. В. Масель, Д. А. Новикова, А. Н. Райкова, С. М. Сендерова и В. А. Стенникова, а также Д. В. Холкина и И. С. Чаусова [11, 12]. Внимание многих авторов привлекали вопросы государственной поддержки ВИЭ на ранних этапах развития и внедрения новых технологий [13–15]. Вместе с тем в литературе пока недостаточно представлены результаты комплексных обобщений влияния новых технологий на трансформацию сферы ВИЭ, важные для определения направлений и механизмов государственной поддержки развития данной отрасли.

Ключевые технологии, способствовавшие прорыву в развитии ВИЭ

Развитие новых технологий в энергетике — ключевой фактор повышения конкурентоспособности ВИЭ на энергетическом рынке. Новые технологии направлены на решение проблем, характерных для возобновляемой энергетики: нестабильность выработки, зависимость от погоды, экономическая неэффективность на ранних этапах внедрения технологии. Авторы исследования выделили следующие технологии, появление и развитие которых в наибольшей степени способствовало расширению использования ВИЭ за счет увеличения доступности,

эффективности, а также снижения окупаемости проектов в сфере возобновляемой энергетики:

- 1) цифровизация: интернет вещей, блокчейн, искусственный интеллект;
- 2) новые электросети (возобновляемые мини-сети, суперсети);
- 3) рынок батарей (батареи коммунального назначения, энергоаккумулирующие устройства);
- 4) системы хранения электроэнергии (водородная энергетика, криогенная система хранения энергии, CCS, CCUS);
- 5) электрификация конечных секторов (интеллектуальная зарядка электромобилей, возобновляемая энергия в секторе отопления).

Далее приводится анализ перечисленных технологий по следующему сценарию: описание технологии, какую проблему ВИЭ она решает, как влияет на окупаемость и на развитие проектов в сфере возобновляемой энергетики.

Цифровизация: интернет вещей, блокчейн, искусственный интеллект

Развитие цифровых технологий началось еще в 70-х гг. прошлого века, однако понадобилось несколько десятилетий, чтобы заговорили об интернете вещей, блокчейне и искусственном интеллекте¹. Цифровизация сделала возможным масштабирование ВИЭ и увеличила их доступность: возникновение мини-сетей и суперсетей в ВИЭ, распределенной генерации оказалось ключевыми технологическими решениями, обеспечившими прорыв. Цифровые технологии внесли вклад в эффективное управление спросом, оптимизацию энергопотребления (*табл. 1*).

Развитие электросетей (возобновляемые мини-сети, суперсети)

Мини-сети и суперсети сделали ВИЭ более доступной технологией, расширили возможность их внедрения, а также делают потребление электроэнергии более гибким и экономичным. Существует большой потенциал для увеличения доли ВИЭ в потреблении энергии путем переноса переменных ВИЭ из удаленных, но богатых ресурсами районов в центры спроса через суперсети. Мини-сети имеют и глубокий социальный эффект: распространяют электроэнергию в труднодоступные регионы (*табл. 2*).

¹ История Интернета вещей. С чего все начиналось? URL: <https://perenio.ru/blog/the-history-of-the-internet-of-things> (дата обращения: 11.06.2020).

Таблица 1 / Table 1

**Направления влияния цифровых технологий на повышение эффективности проектов
в сфере ВИЭ / Impact of digital technologies on projects' efficiency in renewables**

Технология / Technology	Краткое описание / Brief description	Качественное влияние на проекты ВИЭ / Quantitative impact on RES projects
Искусственный интеллект / Artificial intelligence	Процесс и умение анализировать данные. Эффективная имитация управления потреблением энергии [16] / Process and ability to analyze data. Efficient simulation of energy consumption management [16]	Прогнозирование природных условий, энергопотребления зданиями, выработки ВИЭ, потерь в электрических сетях. Оптимизация работы микросети и фотоэлектрических панелей, энергопотребления. Эффективное управление спросом: повышение эффективности взаимодействия энергосистемы и потребителей / Forecasting of natural conditions, buildings' energy consumption, RES output and losses in electric networks. Optimization of mini-grids and photovoltaic panels, of energy consumption. Efficient demand management: interaction between the energy system and consumers improvement
Интернет вещей. В энергетике / Internet of Energy	Интернет вещей объединяет устройства в компьютерную сеть и позволяет им собирать, анализировать, обрабатывать и передавать данные другим объектам. В энергетике: взаимодействие в производстве, передаче и потреблении электроэнергии / The Internet of Things unites devices into a computer network and allows to collect, analyze, process and transmit data to other objects. In the energy sector that means interaction in the production, transmission and consumption of electricity	Возможность подключения большого количества децентрализованных объектов на основе интеллектуальной сети (smart grid): объекты производства электроэнергии на ВИЭ, хранение электроэнергии с помощью батарей, бытовая техника, интеллектуальные измерительные устройства [17]. Удаленное управление энергопотреблением, распределенная генерация: экономия электроэнергии, самостоятельное производство с помощью объектов ВИЭ; распространение возобновляемых технологий среди конечных потребителей, в том числе домохозяйств. Корректировка производства в связи со спросом в реальном времени, уравнивание спроса на энергию / The ability to connect a large number of decentralized objects based on intelligent network (smart grid): objects of electricity production on renewable energy sources, storage of electricity using batteries, household appliances, intelligent measuring devices [17]. Remote energy management, distributed generation: energy saving, self-production with the help of renewable energy facilities; distribution of renewable technologies among end users. Adjustment of production in relation to demand in real time and balancing of energy demand
Блокчейн / Blockchain	Выстроенная по определенным правилам непрерывная цепочка блоков, которая позволяет систематизировать и передавать информацию / A continuous chain of blocks that allows to organize and transmit the information	Создание и внедрение мини-сетей, которые объединяют конечных производителей энергию из ВИЭ. Создание платформ, которые позволяют инвестировать в ВИЭ, по всему миру [18] / Creation and implementation of mini-grids that bring together end-producers of RES. Creating platforms that allow to invest in RES around the world [18]

Источник / Source: разработано авторами на основе: Могиленко А.В. Искусственный интеллект: методы, технологии, применение в энергетике. Аналитический обзор. Подготовлен Российским энергетическим агентством Минэнерго России. URL: <https://in.minenergo.gov.ru/upload/iblock/2f9/2f9942ed69077878d3421e1ba259312c.pdf> (дата обращения: 11.09.2020); Что такое интернет вещей? URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/5db96f769a7947561444f118> (дата обращения: 11.09.2020); Parsons A. How IoT, AI and blockchain lead the way towards a smarter energy sector. URL: <https://www.baireddev.com/blog/iot-ai-and-blockchain-for-smarter-energy> (дата обращения: 11.09.2020) / developed by the authors based on: Mogilenko A.V. Artificial intelligence: methods, technologies, and applications in the energy sector. Analytical review. Prepared by the Russian Energy Agency of the Russian Ministry of Energy. URL: <https://in.minenergo.gov.ru/upload/iblock/2f9/2f9942ed69077878d3421e1ba259312c.pdf> (accessed on 11.09.2020); What is the Internet of things? URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/5db96f769a7947561444f118> (accessed on 11.09.2020); Parsons A. How IoT, AI and blockchain lead the way towards a smarter energy sector. URL: <https://www.baireddev.com/blog/iot-ai-and-blockchain-for-smarter-energy> (accessed on 11.09.2020).

Таблица 2 / Table 2

**Влияния новых электросетей на повышение эффективности проектов
в сфере ВИЭ / Impact of new grids on projects' efficiency in the field of RES**

Технология / Technology	Краткое описание / Brief description	Качественное влияние на проекты ВИЭ / Quantitative impact on RES projects
Мини-сети / Mini-grids	Одна из форм интегрированной энергетической инфраструктуры с распределенными энергетическими ресурсами и нагрузками, обеспечивают автономный потенциал для удовлетворения спроса на электроэнергию за счет местного производства. Мини-сети могут быть либо изолированными и полностью автономными, либо подсоединенными к основной сети / A form of integrated energy infrastructure with distributed energy resources and loads that provide autonomous capacity to meet electricity demand through local production. Mini-grids can be either isolated and completely autonomous, or connected to the main network	Увеличение доли переменных ВИЭ за счет расширения возможности их внедрения. Снабжение основной сети услугами: обеспечение гибкости, внедрение распределенных энергетических ресурсов. Повышение надежности поставок, экономии электроэнергии / Increase of RES share by raising the opportunities of their implementation. Supply of the core network with services: flexibility and distributed energy resources introduction. Improving the reliability of supply, saving electricity
Суперсети / Supergrids	Крупная передающая сеть, которая позволяет торговать большими объемами электроэнергии на больших расстояниях / A large transmission network that allows to trade large amounts of electricity over long distances	Более высокая надежность энергоснабжения, доступность генерирующих мощностей, снижение стоимости электроэнергии в регионах, гибкость системы / The higher reliability of power supply, availability of generating capacity, lower electricity cost in the regions, flexibility of the system

Источник / Source: разработано авторами на основе: Innovation landscape brief: Renewable mini-grids. International Renewable Energy Agency. 2019. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Renewable_mini-grids_2019.pdf?la=en&hash=CFE9676B470A96F7A974CB619889F5810A06043E (дата обращения: 12.09.2020) / developed by the authors based on: Innovation landscape brief: Renewable mini-grids. International Renewable Energy Agency. 2019. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Renewable_mini-grids_2019.pdf?la=en&hash=CFE9676B470A96F7A974CB619889F5810A06043E (accessed on 12.09.2020).

Развитие рынка батарей (батареи коммунального назначения, энергоаккумулирующие устройства)

Хранение энергии имеет решающее значение для интеграции больших объемов переменных ВИЭ в энергосистему. Стоимость батарей постепенно снижается, что в сочетании с возросшим спросом на электромобили и появлением и развитием устойчивых предприятий привело к значительному росту исследований и разработок в сфере создания энергоаккумулирующих устройств. Технологии батарей позволяют легче создавать и накапливать энергию в темное время суток, безветренные дни, что способствует расширению использования ВИЭ² (табл. 3).

² The top 6 Renewable Energy Breakthroughs of 2018. Green Tech Talk. 2018. URL: <https://www.greentechtalk.com/renewable-energy-breakthroughs-2018> (дата обращения: 11.09.2020).

Хранение электроэнергии (водородная экономика, криогенная система хранения энергии, системы улавливания и удержания CO₂ – CCS, CCUS)

Батареи зарекомендовали себя как прекрасное решение для хранения небольших объемов электроэнергии, что дало толчок к развитию электромобилей и ВИЭ, так как появилась возможность локально аккумулировать энергию. Тем не менее использование батарей в промышленных масштабах все еще не является оптимальным решением. В промышленных масштабах хранения электроэнергии развитию ВИЭ способствуют водородная энергетика, криогенная система хранения энергии, а также системы улавливания и удержания CO₂ – CCS, CCUS (табл. 4).

Таблица 3 / Table 3

**Влияния развития рынка батарей на повышение эффективности проектов в сфере ВИЭ /
The impact of battery market development on improving the efficiency of RES projects**

Технология / Technology	Краткое описание / Brief description	Качественное влияние на проекты ВИЭ / Quantitative impact on RES projects
Батареи для коммунального сектора / Utility-scale batteries	<p>Наиболее распространенная технология данной батареи – литий-ионные аккумуляторы, которые также часто используются в электромобилях. Батареи оптимальны для использования в энергетике как в качестве резервных мощностей на случай пиковых нагрузок, так и в качестве систем для обеспечения качества электроснабжения. Вследствие частого перегрева не подходят для промышленных предприятий, в отличие от проточных батарей. Проточные батареи используются для хранения электроэнергии, произведенной на электростанциях / The most common technology of this battery is lithium-ion batteries, which are often used in electric vehicles. The batteries are applicable for use in the energy sector, both as backup capacity in case of peak loads and as opportunities to ensure the quality of electricity supply. Due to frequent overheating, these batteries are not suitable for industrial enterprises, unlike flow batteries. Flow batteries are used to store electricity produced in power plants</p>	<p>Стабилизация частоты, аварийный запуск из обесточенного состояния. Система аккумуляторов помогает отсрочить необходимость инвестирования в пиковое производство и расширение масштабов энергосистем. Хранение излишков энергии и развитие ВИЭ. В паре с возобновляемыми генераторами батареи позволяют производить электроэнергию в изолированных сетях и удаленных поселениях / Frequency stabilization, emergency start from de-energized state. The battery system helps delay the need to invest in peak production and expansion of power systems. Storage of excess energy and development of renewable energy sources. The batteries can produce electricity in isolated networks and remote settlements with renewable generators</p>
Небольшие стационарные батареи / Behind-the-meter batteries	<p>Батареи BTM (behind-the-meter), или небольшие стационарные батареи, подключаются за счетчиком коммунальных услуг коммерческих, промышленных или жилых потребителей в первую очередь с целью экономии счетов за электроэнергию / BTM (behind-the-meter) batteries, or small stationary batteries, are connected behind the utility meter of commercial, industrial or residential consumers, primarily to save energy bills</p>	<p>Аккумуляторы BTM могут обеспечивать поддержку напряжения, частоты, а также других показателей для системных операторов. Аккумуляторы позволяют компенсировать традиционные инвестиции в передачу, распределение и генерацию электроэнергии, помогая снизить пиковую нагрузку в системе. В системах мини-сетей на основе ВИЭ аккумуляторы обеспечивают стабильность и способствуют замене дизельных генераторов / BTM batteries can provide support for voltage, frequency and other indicators for system operators. The batteries compensate for traditional investments in transmission, distribution and generation of electricity, which helps to reduce the peak load in the system. In mini-grid systems based on renewable energy, batteries provide stability and facilitate the replacement of diesel generators</p>

Источник / Source: разработано авторами на основе: Innovation landscape brief: Utility-scale batteries. International Renewable Energy Agency. 2019. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Utility-scale-batteries_2019.pdf (дата обращения: 12.09.2020); ВИЭ + литий-ионные аккумуляторы = будущее. URL: <https://www.liotech.ru/media/vie-litij-ionnye-akkumulyatory-budushchee> (дата обращения: 12.09.2020); Загорский И. Создана проточная батарея высокой емкости. URL: <https://www.vesti.ru/nauka/article/1043517> (дата обращения: 14.09.2020); Utility-scale batteries. Innovation landscape brief. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Utility-scale-batteries_2019.pdf (дата обращения: 14.09.2020) / developed by the authors based on: Innovation landscape brief: Utility-scale batteries. International Renewable Energy Agency. 2019. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Utility-scale-batteries_2019.pdf (accessed on 12.09.2020); RES + lithium-ion batteries = future. URL: <https://www.liotech.ru/media/vie-litij-ionnye-akkumulyatory-budushchee> (accessed on 14.09.2020). Zagorskii I. A high-capacity flow battery has been created. URL: <https://www.vesti.ru/nauka/article/1043517> (accessed on 14.09.2020); Utility-scale batteries. Innovation landscape brief. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Utility-scale-batteries_2019.pdf (accessed on 14.09.2020).

Таблица 4 / Table 4

Новые технологии хранения энергии и развитие ВИЭ / New storage technologies and RES development

Технология / Technology	Краткое описание / Brief description	Качественное влияние на проекты ВИЭ / Quantitative impact on RES projects
Водородная энергетика / Hydrogen energetics	Водород возможно произвести из разных источников энергии и таким образом возникает возможность опосредованно хранить и транспортировать электроэнергию. Зеленый водород практически полностью устраняет выбросы и производится посредством электролиза с использованием ВИЭ, заметно способствует распространению ВИЭ / It is possible to produce hydrogen from different energy sources and thus electricity can be stored and transported indirectly. "Green" hydrogen almost completely eliminates emissions and while being produced by electrolysis using RES, significantly contributes to the spread of renewables	Зеленый водород решает две принципиальные проблемы энергетики: неравномерная загрузка сети и нестабильная выработка ВИЭ / "Green" hydrogen solves two fundamental problems of energy: unbalanced network load and unstable generation of renewable energy sources
Криогенная система хранения / Cryogenic system of storage	Криогенная электростанция накапливает энергию во время относительно невысокого потребления путем охлаждения воздуха и последующего хранения его в жидкой форме / A cryogenic power plant accumulates energy during relatively low consumption by cooling the air and then storing it in liquid form	Поддержка системы передачи и распределения электроэнергии. Длительное хранение энергии позволит операторам увеличить развитие возобновляемой энергетики без необходимости использовать энергию ископаемого топлива для компенсации перебоев в поставках электроэнергии от ВИЭ / Support for power transmission and distribution systems. Long-term energy storage allows to stop offsetting shortfalls in renewable electricity supply by fossil fuel energy
Улавливание и хранение CO ₂ / CCU, CCS	Технологии CCU (carbon capture and utilization) – улавливание и утилизация углерода и CCS (carbon capture and storage) – улавливание и хранение углерода являются еще одним шагом по минимизации выбросов CO ₂ . Одна технология вряд ли сможет заменить другую, однако они могут существовать совместно и дополнять друг друга / CCU (carbon capture and utilization) and CCS (carbon capture and storage) can also contribute to minimizing of CO ₂ emissions. One technology unlikely replaces the other, but they can complement each other	Энергия, полученная благодаря ВИЭ, может быть использована для получения относительно дешевого зеленого водорода / Renewable energy can be used to produce relatively cheap "green" hydrogen

Источник / Source: разработано авторами на основе: Deign J. So, what exactly is green hydrogen? Greentech Media. URL: <https://www.greentechmedia.com/articles/read/green-hydrogen-explained> (дата обращения: 11.09.2020); Cryogenic storage offers hope for renewable energy. URL: <https://www.bbc.com/news/science-environment-37902773> (дата обращения: 11.09.2020); Криогенные системы накопления и хранения энергии. Engineering Technical Services & Know-how. URL: <https://engineeringtsk.com/articles/tekhnologii/kriogennnye-sistemy-nakopleniya-i-khraneniya-energii> (дата обращения: 11.09.2020); CCU or CCS? CCUS may be the answer. Sintef blog. URL: <https://blog.sintef.com/sintefenergy/ccu-or-ccs-ccus-may-be-the-answer> / developed by the authors based on: Deign J. So, what exactly is green hydrogen? Greentech Media. URL: <https://www.greentechmedia.com/articles/read/green-hydrogen-explained> (accessed on 11.09.2020); Cryogenic storage offers hope for renewable energy. URL: <https://www.bbc.com/news/science-environment-37902773> (accessed on 11.09.2020); Cryogenic energy storage and storage systems. Engineering Technical Services & Know-how. URL: <https://engineeringtsk.com/articles/tekhnologii/kriogennnye-sistemy-nakopleniya-i-khraneniya-energii> (accessed on 11.09.2020); CCU or CCS? CCUS may be the answer. Sintef blog. URL: <https://blog.sintef.com/sintefenergy/ccu-or-ccs-ccus-may-be-the-answer> (accessed on 12.09.2020).

Электрификация конечных секторов (интеллектуальная зарядка электромобилей, возобновляемая энергия в секторе отопления)

Электрификация конечных секторов — расширение электропотребления в домашних хозяйствах вместо использования традиционных технологий, базирующихся на использовании ископаемого топлива, является ключевым аспектом развития ВИЭ, наиболее интенсивно вытесняющим углеродные методы преобразования энергии. Тем не менее, несмотря на заметные успехи в развитии именно этого направления, в конце прошлого десятилетия доля потребления энергии, произведенной с помощью ВИЭ в конечных секторах экономики, была значительно меньше, чем от традиционных топливных источников. Самый большой разрыв по-прежнему демонстрировал транспортный сектор, где доля потребления энергии от ВИЭ в общем энергопотреблении составляла всего 1%³. В секторе отопления и прямого использования также огромный потенциал к внедрению зеленых технологий (табл. 5). Однако и здесь доля ВИЭ пока остается не очень высокой.

Цифровизация, умные электросети, современные системы хранения электроэнергии, а также электрификация конечных секторов экономики способствовали прорыву в развитии ВИЭ и вытеснению углеродов с энергетического рынка. Новые технологии позволили решить проблемы, характерные для ВИЭ: непредсказуемость выработки энергии, сложности хранения энергии, отсутствие гибкости — и, как следствие, экономическая неэффективность развития технологий на первых этапах развития отрасли.

Инновационные энергетические технологии ВИЭ

Тенденция к увеличению установленной мощности ВИЭ наблюдается во всем мире. Так, установленные мощности солнечной энергетики в 2018 и в 2019 гг. ежегодно увеличились на 25% по сравнению с предыдущим годом. По оценкам Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (International Renewable Energy Agency, IRENA), для обеспечения энергетического перехода и дости-

³ Renewable energy in the end-use sectors. International Renewable Energy Agency. 2018. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Events/2018/Nov/IRENA_End-use-sector-policy.pdf?la=en&hash=60CFA3F90679F4529A2914A44DACA7DD838E76BC (дата обращения: 11.09.2020).

жения климатических целей, доля ВИЭ в мировом энергообеспечении должна к 2050 г. достичь 65% отметки от общего объема потребляемой энергии. Вместе с тем сейчас плановый прогноз составит лишь 27%⁴. Это означает, что для достижения поставленных целей нужно оказывать еще более широкую поддержку новым технологиям в сфере энергетики, способствующим распространению ВИЭ. Далее авторы статьи приводят список технологий, которые могут способствовать новому, следующему прорыву в сфере развития ВИЭ (табл. 6).

Перспективы развития в России новых энергетических технологий и меры государственной поддержки перспективных технологий ВИЭ

В России электрогенерация на основе ВИЭ пока развита недостаточно широко, несмотря на значительные успехи энергетической отрасли в 50–80-х гг. XX в. ВИЭ только начинают распространяться в силу особенностей российского энергетического рынка. Вместе с тем сегодня сфера электрогенерации на основе использования возобновляемых источников энергии характеризуется быстрым приростом вновь установленных мощностей. Развитие ВИЭ начинает находить отражение в государственной энергетической политике. Так, действующая программа ДПМ (договор о предоставлении мощности) ВИЭ, рассчитанная до 2024 г., была продлена в связи с позитивными результатами реализации программы. Программа осуществляется с помощью проведения конкурсных отборов проектов по генерации на основе ВИЭ⁵. В последние годы была принята серия государственных инициатив, способствующих развитию в стране новых технологий, в том числе содействующих развитию ВИЭ:

- 2017 г.: Концепция развития рынка систем хранения энергии;
- 2018 г.: План мероприятий по совершенствованию законодательства и устранению административных барьеров в целях обеспечения реализации Национальной технологической инициативы

⁴ Remap energy demand and supply by sector. Statistics. 2019. URL: <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Energy-Transition/REmap-Energy-Demand-and-Supply-by-Sector> (дата обращения: 12.09.2020).

⁵ Принуждение к экспорту: поддержка зеленой энергетики ниже ожиданий. Александр Собко. РИА Новости. URL: <https://ria.ru/20190901/1558116222.html> (дата обращения: 15.10.2020).

Таблица 5 / Table 5

**Новые технологии, способствующие электрификации конечных секторов экономики и развитию ВИЭ /
New technologies that contribute to electrification of end-sectors and RES development**

Технология / Technology	Краткое описание / Brief description	Качественное влияние на проекты ВИЭ / Quantitative impact on RES projects
Интеллектуальная зарядка электромобилей / Electric vehicle smart charging	<p>Электромобили имеют большой потенциал для декарбонизации транспортного и энергетических секторов. Внедрение умной зарядки для электромобилей создаст положительную обратную связь с ВИЭ.</p> <p>Периоды простоя электромобилей на парковках с учетом возможностей их использования в качестве емкостей для накопления энергии может стать гибким решением для поддержки энергосистем: электромобили могут быть единицами хранения энергии, регулировать нагрузку электросетей для лучшей интеграции ВИЭ / Electric vehicles have a great potential for decarbonisation of transport and energy sectors. The introduction of smart charging for electric vehicles creates a positive impact on RES.</p> <p>Periods of electric vehicles down time in parking lots can become a flexible solution for supporting energy systems. Electric vehicles can be energy storage units and regulate the load of the power grid for better RES integration</p>	Интеллектуальная зарядка снижает затраты, связанные с развитием местных электросетей, смягчает пики спроса на электроэнергию / Smart charging reduces the costs connected with local electricity networks development and mitigates the peaks of electricity demand
Преобразование ВИЭ в тепло / Renewable power-to-heat	<p>Возобновляемая теплоэнергетика относится к технологиям, использующим возобновляемую электроэнергию для выработки тепла для зданий или промышленных процессов (например, с помощью тепловых насосов). Тепловые насосы используют электричество для передачи тепла от окружающих источников (воздуха, воды, земли) к зданиям. Тепловые насосы могут выполнять как нагревательные, так и охлаждающие функции / Renewable heat energy uses renewable electricity to generate heat for buildings or industrial processes (for example, by heat pumps). Heat pumps use electricity to transfer heat from surrounding sources (air, water, earth) to buildings. Heat pumps can perform both heating and cooling functions</p>	Электрификация отопления может помочь снизить углеродоемкость энергетического сектора. Использование тепловых насосов и электрических котлов способствует интеграции ВИЭ в единую энергетическую систему, регулированию пиковых нагрузок / Electrification of heating can help reduce the carbon intensity of the energy sector. Heat pumps and electric boilers contribute to integration of renewable energy into a single energy system as far as to regulation of peak loads

Источник / Source: разработано авторами на основе: Innovation landscape brief: Renewable power-to-heat. International Renewable Energy Agency. 2019. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Power-to-heat_2019.pdf?la=en&hash=524C1BFD59EC03FD44508F8D7CFB84CEC317A299 (дата обращения: 11.09.2020); Innovation landscape brief: Electric-vehicle smart charging. International Renewable Energy Agency. 2019. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_EV_Smart_Charging_2019.pdf (дата обращения: 12.09.2020) / developed by the authors based on: Innovation landscape brief: Renewable power-to-heat. International Renewable Energy Agency. 2019. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Power-to-heat_2019.pdf?la=en&hash=524C1BFD59EC03FD44508F8D7CFB84CEC317A299 (accessed on 11.09.2020); Innovation landscape brief: Electric-vehicle smart charging. International Renewable Energy Agency. 2019. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_EV_Smart_Charging_2019.pdf (accessed on 12.09.2020)

по направлению «Энерджинет»: в том числе в сфере накопления электроэнергии;

- 2019 г.: Национальный проект «Цифровая экономика»;
- 2020 г.: Первая версия российской программной платформы управления распределенной энергетикой;
- Указ Президента РФ от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах разви-

тия Российской Федерации на период до 2024 года» — развитие распределенной генерации;

- Федеральный закон от 26.03.2003 № 35-ФЗ «Об электроэнергетике» — микрогенерация.

Реализация программ поддержки развития ВИЭ и функционирование компаний, осуществляющих электрогенерацию на основе технологий возобновляемой энергетики, традиционно сталкивается с комплексом проблем, свойственных не только

Таблица 6 / Table 6

**Перспективные технологии, способные поддержать развитие ВИЭ в ближайшие десятилетия /
Emerging technologies that can contribute to RES development in the coming decades**

Новые технологии / New technologies		
Название / Name	Краткое описание / Brief description	Влияние на ВИЭ / Impact on RES
Фотоэлектрический гибридный солнечный коллектор / Photovoltaic thermal hybrid solar collector	Технология использует солнечный свет и полупроводники для разделения воды на водород и кислород [19] / This technology uses sunlight and semiconductors to separate water into hydrogen and oxygen [19]	Новая фотоэлектрохимическая система может повысить эффективность преобразования солнечной энергии в водород с 3 до 9% / New photoelectrochemical system can increase the efficiency of converting solar energy to hydrogen from 3 to 9%
Статические компенсаторы / Statistic compensators	Необходимость в компенсаторах возникает, если сети с высокой долей использования ВИЭ не имеют механизма саморегулирования частоты / The need for compensators arises if networks with a high share of renewable energy sources do not have a frequency self-regulation mechanism	Технология позволяет поддерживать постоянную частоту в электрической сети / This technology allows to maintain a constant frequency in the electrical network
Сверхвысокое напряжение постоянного тока / Ultra High Voltage DC	Линии электропередач, которые используют для трансмиссии электроэнергии постоянный ток / Power lines that use direct current to transmit electricity	Позволяет более эффективно передавать электроэнергию на большие расстояния, повышает стабильность, надежность и пропускную способность электросетей / Contributes to more efficient transmission of electricity over long distances, increases the stability, reliability and capacity of the power grid
Межсистемная ЛЭП / Interconnector capacity	Электросети, которые позволяют передавать электроэнергию через границы, между странами / Power grids that allow electricity to be transmitted across borders	Решение проблем, связанных с перебоями в работе электросетей. Повышение покрытия территорий электросетями / Solution of problems with disruptions of power grids. Increase in coverage of territories with electric networks
Динамические электрокабели / Dynamic export cables	Кабели позволяют соединить плавучие платформы ВИЭ со стационарным кабелем на морском дне / The cables allow to connect floating RES platforms with a fixed cable on the seabed	Обслуживание плавучих платформ ВИЭ / Maintenance of floating RES platforms
Концентрированная солнечная энергия / Solar concentration technology	Улучшение возможностей производства тепла. Технология способствует улучшениям в сфере производства электроэнергии, но пока не может удовлетворить потребности промышленных процессов / Improving the ability to produce heat. The technology contributes to improvements in the field of electricity production, but it cannot yet meet the needs of industrial processes	Технология дает энергоемким предприятиям возможность заменить использование ископаемого топлива в самых энергоемких и загрязняющих отраслях промышленности / The technology gives energy-intensive enterprises the opportunity to replace the use of fossil fuels in the most energy-intensive and polluting industries
Перспективные возобновляемые источники энергии / Forward-looking RES		
Название / Name	Основные характеристики / Main characteristics	
Морская (оффшорная) солнечная энергетика / Offshore solar	Морская солнечная энергетика является решением проблемы нехватки свободных земель, их высокой стоимости. Технология также является более продуктивной по сравнению с наземными аналогами. КПД технологии примерно на 15% выше, чем у аналогичных береговых проектов / Offshore solar energy contributes to solving the lack of available land and its high cost problem. The efficiency of the technology is approximately 15% higher than that of similar onshore projects	

Окончание таблицы 6 / Table 6 (continued)

Перспективные возобновляемые источники энергии / Forward-looking RES	
Название / Name	Основные характеристики / Main characteristics
Морская (оффшорная) ветряная энергетика / Offshore wind	Более высокая продуктивность выработки энергии за счет более высокой и постоянной скорости ветра. Большие единичные мощности и размеры ветрогенераторов, чем у наземных ветряных турбин / The higher energy production efficiency due to higher and more constant wind speed. The larger unit capacities and sizes of wind turbines than that of onshore
Реактор с расплавленной солью / Molten salt reactors	Обеспечивают меньший радиационный риск, чем традиционная ядерная энергетика / Provide a lower radiation risk than a traditional nuclear power
Волновое энергетическое устройство / Novel wave energy device	Система улавливает энергию океанских волн. Новая технология не причиняет вреда океанской флоре и фауне, а также позволяет достичь более высокой эффективности преобразования энергии волн / The system captures the energy of ocean waves. The new technology does not harm the ocean flora and fauna and also allows to achieve the higher efficiency of wave energy conversion

Источник / Source: разработано авторами на основе: Adis A. New inventions boost renewable energy. Offshore Energy. URL: <https://www.offshore-energy.biz/new-inventions-boost-renewable-energy> (дата обращения: 12.09.2020); Deign J. 5 emerging energy technologies to watch out for in 2020. Greentech Media. URL: <https://www.greentechmedia.com/articles/read/5-emerging-energy-technologies-to-watch-out-for-in-2020> (дата обращения: 14.09.2020); Larson A. Benefits of high-voltage direct current transmission systems. Powermag. URL: <https://www.powermag.com/benefits-of-high-voltage-direct-current-transmission-systems> (дата обращения: 12.09.2020); Electricity interconnectors. Ofgem. URL: <https://www.ofgem.gov.uk/electricity/transmission-networks/electricity-interconnectors> (дата обращения: 12.09.2020); Heliogen's new tech could unlock renewable energy for industrial manufacturing. URL: <https://techcrunch.com/2019/11/19/heliogens-new-technology-could-unlock-renewable-energy-for-industrial-manufacturing> (дата обращения: 14.09.2020); Deign J. Floating solar gets ready for the high seas. Greentech Media. URL: <https://www.greentechmedia.com/articles/read/floating-solar-gears-up-for-the-high-seas> (дата обращения: 14.09.2020); Do you know how offshore wind farms work? Iberdrola. URL: <https://www.iberdrola.com/environment/how-does-offshore-wind-energy-work> (дата обращения: 14.09.2020); New inventions boost renewable energy. URL: <https://www.offshore-energy.biz/new-inventions-boost-renewable-energy> (дата обращения: 14.09.2020) / developed by the authors based on: Adis A. New inventions boost renewable energy. Offshore Energy. URL: <https://www.offshore-energy.biz/new-inventions-boost-renewable-energy> (accessed on 12.09.2020); Deign J. 5 emerging energy technologies to watch out for in 2020. Greentech Media. URL: <https://www.greentechmedia.com/articles/read/5-emerging-energy-technologies-to-watch-out-for-in-2020> (accessed on 14.09.2020); Larson A. Benefits of high-voltage direct current transmission systems. Powermag. URL: <https://www.powermag.com/benefits-of-high-voltage-direct-current-transmission-systems> (accessed on 12.09.2020); Electricity interconnectors. Ofgem. URL: <https://www.ofgem.gov.uk/electricity/transmission-networks/electricity-interconnectors> (accessed on 12.09.2020); Heliogen's new tech could unlock renewable energy for industrial manufacturing. URL: <https://techcrunch.com/2019/11/19/heliogens-new-technology-could-unlock-renewable-energy-for-industrial-manufacturing> (accessed on 14.09.2020); Deign J. Floating solar gets ready for the high seas. Greentech Media. URL: <https://www.greentechmedia.com/articles/read/floating-solar-gears-up-for-the-high-seas> (accessed on 14.09.2020); Do you know how offshore wind farms work? Iberdrola. URL: <https://www.iberdrola.com/environment/how-does-offshore-wind-energy-work> (accessed on 14.09.2020); New inventions boost renewable energy. URL: <https://www.offshore-energy.biz/new-inventions-boost-renewable-energy> (accessed on 14.09.2020).

сфере ВИЭ, но и многим высокотехнологичным секторам российской экономики. Типичными проблемами являются:

- сильная зависимость от импорта, отсутствие российской инфраструктуры;
- сравнительно высокая стоимость систем накопления энергии, отсутствие успешной практики их применения, несовершенство нормативно-правового и нормативно-технического регулирования электроэнергетики, недоверие потенциальных потребителей⁶;

⁶ Чаусов И., Бурдин И., Ряпин И., Добровольский Ю., Корев Д. Рынок систем накопления электроэнергии в России: потенциал развития. Экспертно-аналитический доклад Роснано. 2018. URL: https://www.rusnano.com/upload/images/sitefiles/files/Condenses_System_Markets_in-Russia.pdf (дата обращения: 15.10.2020).

- высокая импортозависимость от серверных продуктов и программного обеспечения (опрос Аналитического центра при Правительстве РФ). Однако, по данным того же источника, экспорт ИТ услуг в 2018 г. увеличился в 2 раза по сравнению с 2010 г., что свидетельствует о постепенном снижении зависимости от импорта в сфере программных продуктов;

- неразвитость внутреннего спроса на водород, а также отсутствие утвержденной государственной программы по развитию водородной экономики и др.

Можно сделать вывод, что многие технологии, способствующие прорыву в развитии ВИЭ, не только находятся в России на начальной стадии развития, но и сильно зависят от импорта. Обобщение зарубежного опыта, прежде всего опыта таких стран,

как Китай и Германия, позволяет утверждать, что наиболее эффективными методами поддержки новых технологий могут быть следующие меры:

- оказание государственной поддержки нестабильным рынкам новых технологий на начальных этапах их становления;
- стимулирование перспективных исследований в области новых технологий;
- модернизация и развитие инфраструктуры для локализации производства и внедрения новых технологий;
- расширение сотрудничества с иностранными компаниями, участие в международных проектах, исследованиях, выставках с целью трансфера успешного опыта. Создание совместных предприятий с иностранными компаниями;
- создание системы стимулирования внедрения новых технологий;
- разработка долгосрочной климатической стратегии, учитывающей изменения на всероссийском и региональном уровне. Поддержка перспективных технологий в ВИЭ на уровне государственной политики. Создание стратегии по внедрению новых зеленых технологий, плана реализации и распределения финансирования по ключевым для России технологиям. Целесообразно финансировать новые проекты и делать запросы на исследования в научных центрах и учебных заведениях; создавать государственные научные центры, специализирующиеся на новых технологиях в ВИЭ;
- контроль эффективности применения инструментов поддержки новых технологий.

В данном случае авторы перечислили только ключевые меры поддержки, содействующие внедрению передовых технологий в сфере возобновляемой энергетики. Одновременно важно подчеркнуть, что успешность развития электрогенерации из возобновляемых источников энергии на региональном уровне в значительной степени зависит от поддержки местных органов власти, существующего в том или ином регионе микроклимата, отношения к представителям предпринимательских структур. Так, например, активная позиция руководства Ульяновской области в отношении развития возобновляемой энергетики способствовала превращению этого региона в одну из точек роста ВИЭ на территории Российской Федерации. Можно назвать и другие регионы, в которых развитие новых технологий и электрогенерации на

основе ВИЭ рассматривается в качестве одной из стратегических задач.

С учетом пока еще невысокой покупательной способности населения и части промышленных предприятий целесообразно субсидирование со стороны государства для приобретения в домашних хозяйствах новых образцов энергосберегающего оборудования и систем микрогенерации электроэнергии.

Выводы

В рамках исследования обобщены новые технологии, обеспечившие рост эффективности использования ВИЭ на современном энергетическом рынке. ВИЭ являются ключевым параметром энергетического перехода и, по мнению представителей Международного агентства по возобновляемым источникам энергии, смогут привести к экологизации энергетического сектора и формированию модели зеленой экономики.

Несмотря на стремительное развитие в мире и в России новых технологий изменений, все равно недостаточно, чтобы выполнить план по реализации климатической стратегии. Государства, и в том числе Россия, должны разрабатывать стратегии по развитию ВИЭ и внедрению новых технологий в данной сфере.

Россия на современном этапе заметно отстает по развитию новых энергетических технологий и в большой степени зависит от их импорта. Тем не менее есть позитивные сдвиги: в последние несколько лет были приняты программы по поддержке внедрения новых технологий, появились регионы, сумевшие в короткие сроки реализовать серию крупных проектов по развитию возобновляемой электрогенерации.

Представленное исследование позволяет сформировать целостную картину влияния новых технологий на развитие ВИЭ и сформировать методологическую базу для обоснования выбора механизмов государственной поддержки модернизации энергетического комплекса. Результаты данной работы могут способствовать выбору перспективных инновационных решений в сфере ВИЭ. Вместе с тем авторы полагают, что целесообразно дальнейшее проведение исследований в области экономической оценки внедрения перспективных технологий ВИЭ в России, выявления препятствий для использования новых технологий и разработки дорожных карт государственной поддержки инновационных компаний, работающих в рамках внедрения конкретных прорывных технологий.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование осуществляется при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта «Влияние новых технологий на глобальную конкуренцию на рынках сырьевых материалов», проект № 19–010–00782.

ACKNOWLEDGEMENT

The research is carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research under the project “The impact of new technologies on global competition in the raw materials markets”, Project No. 19–010–00782.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Schmidt R. C., Marschinski R. A model of technological breakthrough in the renewable energy sector. *Ecological Economics*. 2009;69(2):435–444. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2009.08.023
- Yan Z., Zou B., Du K., Li K. Do renewable energy technology innovations promote China’s green productivity growth? Fresh evidence from partially linear functional-coefficient models. *Energy Economics*. 2020;90. DOI: 10.1016/j.eneco.2020.104842
- Bamati N., Raoofi A. Development level and the impact of technological factor on renewable energy production. *Renewable Energy*. 2020;151:946–955. DOI: 10.1016/j.renene.2019.11.098
- Su C.-W., Umar M., Khan Z. Does fiscal decentralization and eco-innovation promote renewable energy consumption? Analyzing the role of political risk. *Science of The Total Environment*. 2020;751. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142220
- Irandoost M. The renewable energy-growth nexus with carbon emissions and technological innovation: Evidence from the Nordic countries. *Ecological Indicators*. 2016;69:118–125. DOI: 10.1016/j.ecolind.2016.03.051
- Lin B., Zhu J. The role of renewable energy technological innovation on climate change: Empirical evidence from China. *Science of the Total Environment*. 2019;(659):1505–1512. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.12.449
- Chen W., Lei Y. The impacts of renewable energy and technological innovation on environment-energy-growth nexus: New evidence from a panel quantile regression. *Renewable Energy*. 2018;123:1–14. DOI: 10.1016/j.renene.2018.02.026
- Wu T., Yang S., Tan J. Impacts of government R&D subsidies on venture capital and renewable energy investment — an empirical study in China. *Resources Policy*. 2020;68. DOI: 10.1016/j.resourpol.2020.101715
- Кулагин В.А. Перспективы развития мировой энергетики с учетом влияния технологического прогресса. М.: ИНЭИ РАН; 2020. 320 с.
- Макаров А.А., Веселов Ф.В. Роль научно-технического прогресса в развитии энергетики России. М.: ИНЭИ РАН; 2019. 252 с.
- Воропай Н.И., Губко М.В., Ковалев С.П., Массель Л.В., Новиков Д.А., Райков А.Н., Сендеров С.М., Стенников В.А. Проблемы развития цифровой энергетики в России. *Проблемы управления*. 2019;(1):2–14. DOI: 10.25728/ru.2019.1.1
- Холкин Д.В., Чаусов И.С. Цифровой переход в экономике России: в поисках смысла. *Энергетическая политика*. 2018;(5):7–16.
- Башмаков И.А. Энергетика мира: мифы прошлого и уроки будущего. *Вопросы экономики*. 2018;(4):49–75.
- Гречухина И.А., Кудрявцева О.В., Яковлева Е.Ю. Эффективность развития рынка возобновляемых источников энергии в России. *Экономика региона*. 2016;12(4):1167–1177. DOI: 10.17059/2016–4–18
- Маликова О.И., Златникова М.А. Государственная политика в области развития возобновляемой энергетики. *Государственное управление. Электронный вестник*. 2019;(72):5–30.
- Ahmad T., Chen H., Shah W.A. Effective bulk energy consumption control and management for power utilities using artificial intelligence techniques under conventional and renewable energy resources. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2019;109:242–258. DOI: 10.1016/j.ijepes.2019.02.023
- Al-Ali A. R. Internet of things role in the renewable energy resources. *Energy Procedia*. 2016;100:34–38. DOI: 10.1016/j.egypro.2016.10.144
- Wang Q., Su M. Integrating blockchain technology into the energy sector — from theory of blockchain to research and application of energy blockchain. *Computer Science Review*. 2020;37. DOI: 10.1016/j.cosrev.2020.100275

19. García P.N., Zubi G., Pasaoglu G., Dufo-López R. Photovoltaic thermal hybrid solar collector and district heating configurations for a Central European multi-family house. *Energy Conversion and Management*. 2017;148:915–924. DOI: 10.1016/j.enconman.2017.05.065

REFERENCES

1. Schmidt R.C., Marschinski R. A model of technological breakthrough in the renewable energy sector. *Ecological Economics*. 2009;69(2):435–444. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2009.08.023
2. Yan Z., Zou B., Du K., Li K. Do renewable energy technology innovations promote China's green productivity growth? Fresh evidence from partially linear functional-coefficient models. *Energy Economics*. 2020;90. DOI: 10.1016/j.eneco.2020.104842
3. Bamati N., Raoofi A. Development level and the impact of technological factor on renewable energy production. *Renewable Energy*. 2020;151:946–955. DOI: 10.1016/j.renene.2019.11.098
4. Su C.-W., Umar M., Khan Z. Does fiscal decentralization and eco-innovation promote renewable energy consumption? Analyzing the role of political risk. *Science of The Total Environment*. 2020;751. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142220
5. Irandoust M. The renewable energy-growth nexus with carbon emissions and technological innovation: Evidence from the Nordic countries. *Ecological Indicators*. 2016;69:118–125. DOI: 10.1016/j.ecolind.2016.03.051
6. Lin B., Zhu J. The role of renewable energy technological innovation on climate change: Empirical evidence from China. *Science of the Total Environment*. 2019;(659):1505–1512. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.12.449
7. Chen W., Lei Y. The impacts of renewable energy and technological innovation on environment-energy-growth nexus: New evidence from a panel quantile regression. *Renewable Energy*. 2018;123:1–14. DOI: 10.1016/j.renene.2018.02.026
8. Wu T., Yang S., Tan J. Impacts of government R&D subsidies on venture capital and renewable energy investment – an empirical study in China. *Resources Policy*. 2020;68. DOI: 10.1016/j.resourpol.2020.101715
9. Kulagin V.A. Prospects for the development of world energy taking into account the impact of technological progress. Moscow: ERIRAS; 2020. 320 p. (In Russ.).
10. Makarov A.A., Veselov F.V. The role of scientific and technological progress in the development of energy in Russia. Moscow: ERIRAS; 2019. 252 p. (In Russ.).
11. Voropai N. I., Gubko M. V., Kovalev S. P., Massel L. V., Novikov D. A., Raikov A. N., Senderov S. M., Stennikov V.A. Digital energy development problems in Russia. *Problemy upravleniya = Control Sciences*. 2019;(1):2–14. (In Russ.). DOI: 10.25728/pu.2019.1.1
12. Kholkin D.V., Chausov I.S. Digital transition in the Russian power engineering: In search of meaning. *Energeticheskaya politika = The Energy Policy*. 2018;(5):7–16. (In Russ.).
13. Bashmakov I.A. World energy: Myths of the past and lessons of the future. *Voprosy ekonomiki*. 2018;(4):49–75. (In Russ.).
14. Grechukhina I.A., Kudryavtseva O.V., Yakovleva E. Yu. Evaluation of the development of the renewable energy markets in Russia. *Ekonomika regiona = Economy of Region*. 2016;12(4):1167–1177. (In Russ.). DOI: 10.17059/2016-4-18
15. Malikova O.I., Zlatnikova M.A. State policy for the development of renewable energy. *Gosudarstvennoe upravlenie. Elektronnyi vestnik = Public Administration. E-Journal*. 2019;(72):5–30. (In Russ.).
16. Ahmad T., Chen H., Shah W.A. Effective bulk energy consumption control and management for power utilities using artificial intelligence techniques under conventional and renewable energy resources. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2019;109:242–258. DOI: 10.1016/j.ijepes.2019.02.023
17. Al-Ali A.R. Internet of things role in the renewable energy resources. *Energy Procedia*. 2016;100:34–38. DOI: 10.1016/j.egypro.2016.10.144
18. Wang Q., Su M. Integrating blockchain technology into the energy sector – from theory of blockchain to research and application of energy blockchain. *Computer Science Review*. 2020;37. DOI: 10.1016/j.cosrev.2020.100275
19. García P.N., Zubi G., Pasaoglu G., Dufo-López R. Photovoltaic thermal hybrid solar collector and district heating configurations for a Central European multi-family house. *Energy Conversion and Management*. 2017;148:915–924. DOI: 10.1016/j.enconman.2017.05.065

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ольга Игоревна Маликова — доктор экономических наук, профессор кафедры экономики природопользования экономического факультета, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

malikovaol@gmail.com

Петр Алексеевич Кирюшин — кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики природопользования экономического факультета, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

pkiryushin@gmail.com

Анастасия Владимировна Николаева — студентка экономического факультета, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

nikolaeva.anastasia.v@gmail.com

ABOUT THE AUTHORS

Ol'ga I. Malikova — Dr. Sci. (Econ.), Professor of the Department of Environmental Economics, Faculty of Economics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

malikovaol@gmail.com

Petr A. Kiryushin — Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor of the Department of Environmental Economics, Faculty of Economics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

pkiryushin@gmail.com

Anastasiya V. Nikolaeva — Student of the Faculty of Economics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

nikolaeva.anastasia.v@gmail.com

Заявленный вклад авторов:

Маликова О.И. — постановка проблемы, критический анализ литературы, описание механизмов государственной поддержки и формирование выводов исследования.

Кирюшин П.А. — разработка концепции статьи, сбор статистических данных, описание инновационных технологий ВИЭ.

Николаева А.В. — критический анализ зарубежной литературы, сбор статистических данных, табличное и графическое представление результатов, описание цифровых технологий, влияющих на развитие ВИЭ.

Authors' declared contribution:

Malikova O.I. — problem statement, critical literature analysis, description of state support mechanisms and formation of research conclusions.

Kirtushin P.A. — article concept development, collection of statistical data, description of innovative renewable energy technologies.

Nikolaeva A.V. — critical analysis of foreign literature, collection of statistical data, tabular and graphical representation of results, description of digital technologies affecting the development of renewable energy.

Статья поступила в редакцию 11.01.2021; после рецензирования 01.02.2021; принята к публикации 22.02.2021.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The article was submitted on 11.01.2021; revised on 01.02.2021 and accepted for publication on 22.02.2021.

The authors read and approved the final version of the manuscript.