

Научная статья

УДК 338.012

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.14605>

## РАСПРЕДЕЛЕННАЯ И ЦИФРОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА КАК ИННОВАЦИОННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЧЕТВЕРТОГО ЭНЕРГОПЕРЕХОДА

Н.В. Кваша<sup>1</sup> , Е.Г. Бондарь<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций  
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, Российская Федерация;

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет  
аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉ [nadia\\_kvasha@rambler.ru](mailto:nadia_kvasha@rambler.ru)

**Аннотация.** Узкий взгляд на современный энергопереход, как на процесс вытеснения нетрадиционными источниками энергии (НИЭ) ископаемых видов топлива, является основной причиной де-факто приоритизации инерционного сценария функционирования энергетической отрасли. Игнорирование энергопереходных процессов ведет к долгосрочным негативным последствиям, в том числе в виде недополученных эффектов и упущенных возможностей, открывающихся при переходе к новым инновационным моделям энергосистем. Целью исследования является выявление основных элементов четвертого энергоперехода, определяющих эффективные инновационные направления развития энергетических систем различного уровня, что расширяет дефиницию «энергопереход». Совокупность теоретико-методических подходов исследования (общие положения экономической теории, теории рынка, инвестиций, специальные подходы в области теории и методологии обеспечения энергоэффективности, устойчивого развития, зеленой экономики, теории внешних эффектов, методологии управления инновациями, в том числе в области цифровизации) обусловлена базированием на концепции Энергетической трилеммы. Показано, что отличительной особенностью четвертого энергоперехода является обеспечивающая роль элемента цифровизации, связанного с цифровым и интеллектуальным управлением и гибким построением сетей. Развитие цифрового элемента в данном направлении обуславливает возможности формирования энергосистемы на инновационных распределенных принципах. К эффектам развития распределенной энергетики на основе цифрового базиса отнесены диверсификация энергоресурсов за счет расширения возможностей использования НИЭ, а также вторичных источников энергии, обеспечение возможности независимого функционирования энергосистемы в случае необходимости, демонополизация внутренних энергетических рынков, ведущая к снижению затрат потребителей, обеспечивая как непосредственно их эффективность, так и мультипликативный эффект для экономических систем более высокого уровня. На основе тезиса об определяющей роли элементов децентрализации и цифровизации в современных переходных процессах обосновывается необходимость смещения фокуса исследований в область разработки мер по реформированию энергосистемы России с учетом внедрения инноваций в области распределенной и цифровой энергетики. Выдвинуто предположение, что развитие распределенной энергетики в России на инновационно-цифровых принципах может стать платформой для плавного энергоперехода, позволяющей реализовать, как генерируемые им возможности, так и в оптимальной степени нейтрализовать возникающие угрозы.

**Ключевые слова:** энергетический переход; энергоэффективность; инновационные элементы; распределенная энергетика, нетрадиционные источники энергии, цифровые и интеллектуальные технологии

**Для цитирования:** Кваша Н.В., Бондарь Е.Г. Распределенная и цифровая энергетика как инновационные элементы четвертого энергоперехода // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2021. Т. 14, № 6. С. 67–77. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.14605>

Это статья открытого доступа, распространяемая по лицензии CC BY-NC 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Scientific article

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.14605>

## DISTRIBUTED AND DIGITAL ENERGY AS INNOVATIVE ELEMENTS OF THE FOURTH ENERGY TRANSITION

**N.V. Kvasha**<sup>1</sup>  , **E.G. Bondar**<sup>2</sup> <sup>1</sup> Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications,  
St. Petersburg, Russian Federation;<sup>2</sup> Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation,  
St. Petersburg, Russian Federation [nadia\\_kvasha@rambler.ru](mailto:nadia_kvasha@rambler.ru)

**Abstract.** A narrow view of the modern energy transition as a process of displacing fossil fuels by untraditional energy sources (UES) is the main reason for the de facto prioritization of the inertial scenario of the energy industry functioning. Ignoring energy transition processes leads to long-term negative consequences, including missed opportunities that open during the transition to new innovative models of energy systems. The aim of the study is to identify the main elements of the fourth energy transition, which determine effective innovative directions for the development of energy systems at various levels expanding the definition of “energy transition”. The set of theoretical and methodological research approaches (general provisions of economic theory, market theory, investment, special approaches in the field of theory and methodology of energy efficiency, sustainable development, green economy, externalities theory, innovation management methodology, including in the field of digitalization) is due to the basing on the concept of the Energy Trilemma. It is shown that a distinctive feature of the fourth energy transition is the supporting role of the digitalization element associated with digital and smart control and flexible construction of networks. The development of a digital element in this direction determines the possibility of forming a power system on innovative distributed principles. Development of the digital basis distributed energy results in diversification of energy resources by expanding the possibilities of using UES, as well as secondary energy sources. In addition, it ensures the possibility of independent operation of the energy system if necessary and demonopolizes domestic energy markets. This leads to a decrease in consumer costs, providing both their direct efficiency and the multiplier effect for higher-level economies. Based on the thesis about the decisive role of the elements of decentralization and digitalization in modern transition processes, the paper substantiates the need to shift the focus of research to the development of measures to reform the Russian energy system, taking into account the introduction of innovations in the field of distributed and digital energy. It has been suggested that the development of distributed energy in Russia based on innovative digital principles can become a platform for a smooth energy transition, which makes it possible to realize the opportunities it generates, as well as optimally neutralize the emerging threats.

**Keywords:** energy transition; energy efficiency; innovative elements; distributed energy, untraditional energy sources, digital technologies, smart energy

**Citation:** N.V. Kvasha, E.G. Bondar', Distributed and digital energy as innovative elements of the fourth energy transition, St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics, 14 (6) (2021) 67–77. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.14605>

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

### Введение

Четвертый энергетический переход (Energy Transition, ET), в который мир входит в настоящее время, является объективно-обусловленным процессом накопления критической массы инноваций в энергетике. В России, поддерживающей активизацию ET-повестки на официальном уровне, фактически наблюдается институциональное сопротивление переходным процессам в энергетическом комплексе. Игнорирование современных инновационных тенденций в области



энергетики при выборе направлений экономического развития может, как привести к ряду долгосрочных негативных последствий экономического характера, так ограничить реализацию возможностей, открывающихся при переходе к новым инновационным моделям энергосистем. Таким образом, исследования, расширяющие понимание роли современного переходного процесса в инновационном развитии энергетической отрасли, являются актуальными с точки зрения обеспечения конкурентоспособности национальной экономики на долгосрочную перспективу.

### **Литературный обзор**

Критический анализ научной литературы за 2012–2021 гг. по экономическим, технологическим и управленческим вопросам развития энергетического комплекса, а также дополнительных источников в виде аналитических отчетов, программных документов, публикаций в средствах массовой информации показал, что среди отечественных и зарубежных исследователей преобладает узкий подход к пониманию энергоперехода как процесса замены традиционных (преимущественно ископаемых) энергетических источников нетрадиционными видами энергии (НИЭ).

С нашей точки зрения, устоявшаяся дефиниция, близкая к значению «энергоповорот», ограничивает набор включаемых в анализ элементов современного ЕТ-процесса рамками исследований эффектов развития зеленых источников энергии. Результаты библиометрических исследований показывают, что количество публикаций по зеленой энергетике выросло с 1998 г. по 2020 г. в геометрической прогрессии. При этом рост обеспечили в основном исследования проблем декарбонизации, в то время как объемы исследований других вопросов, в частности энергоэффективности, оставались на стабильном уровне [22].

Основные направления развития мировой энергетики в процессе современного энергоперехода подробно рассматриваются в статье Кулапина А.И. [7]. Здесь же оценивается место России в глобальной повестке. Энергопереход определяется автором, как структурное преобразование глобального энергетического баланса. Аналогичной позиции придерживаются и другие исследователи. Так, Бахтизина Н.В. и Бахтизин А.Р., исследуя вопросы инвестирования переходных процессов, определяют текущий энергопереход, как глубокую декарбонизацию мировой экономики [1].

В работах по смежным вопросам авторы базируются на сходных подходах. Жизнин С.З. с соавторами [5], анализируя конкуренцию полезных ископаемых в период пандемии, характеризует современные переходные процессы, как низкоуглеродные. Харланов А.С. [14], рассматривая нефтегазовый сектор в условиях цифровизации, указывает, что на смену традиционной углеводородной и атомной энергетике приходят нетрадиционные источники энергии.

Солидарны в этом вопросе и зарубежные исследователи. В частности, Gielen D. и др. [17], отмечают, что «переход от ископаемого топлива к решениям с низким содержанием углерода будет играть важную роль...». Зарубежные авторы смежных исследований, например, Lohmann A. И соавторы [20], предлагая пути сокращения водопотребления на объектах генерации, также рассматривают переход к НЭИ в качестве определяющего элемента трансформационных процессов в энергетике.

Текущее положение дел в исследованиях рассматриваемой проблематики, с нашей точки зрения, является одной из причин приоритизации де-факто инерционного сценария развития российской энергетической отрасли, так как мировой курс на декарбонизацию является серьезным вызовом для отечественного сырьевого экспорта.

### **Цель исследования**

Целью исследования является выявление и обоснование основных элементов четвертого энергоперехода, определяющих эффективные инновационные направления развития энергетических систем различного уровня. Для достижения цели исследования были поставлены следующие задачи:

- уточнение дефиниции «энергопереход» на основе широкого подхода к пониманию переходных процессов в энергетике;
- установление основных элементов современных ЕТ-процессов, определяющих эффективные инновационные направления развития энергетической отрасли;
- определение инновационной роли в энергопереходных процессах нового элемента цифровизации;
- выявление основных предпосылок и потенциальных эффектов формирования энергосистемы России на инновационных распределенных принципах.

### **Методы исследования**

Совокупность теоретико-методических подходов исследования обусловлена использованием базисной концепции Энергетической трилеммы: энергобезопасность (надежность) – энергодоступность (достаточный объем по приемлемым ценам) – экологичность (минимизация антропогенного воздействия на окружающую среду). В соответствии с этим теоретической основой исследования явились, как общие положения экономической теории, теории рынка, инвестиций, так и специальные подходы в области теории и методологии обеспечения энергоэффективности, устойчивого развития, зеленой экономики, теории внешних эффектов, а также методологии управления инновациями, в том числе в области цифровизации. Широко использованы методы анализа (экспертного, логического и статистического, анализа затрат и результатов). Применены подходы экономического моделирования, в частности графического.

### **Результаты и обсуждение**

Решение поставленных задач в соответствие с целью исследования обусловило получение следующих научных результатов:

1. Анализ прогнозов развития мировой энергетики, например, на основе сценариев, разработанных Институтом энергетических исследований Российской академии наук (ИНЭИ РАН), показывает, что совокупная доля углеродосодержащих видов топлива сохраняется на подавляюще преобладающем уровне даже в рамках самого оптимистичного сценария с точки зрения развития НЭИ. При этом доля газа, как в структуре углеводородов, так и в общей структуре энергоресурсов увеличивается при всех сценариях развития электроэнергетики (рис. 1).

Таким образом, понимание современного энергоперехода, как процесса вытеснения нетрадиционными источниками энергии ископаемого топлива является безусловно ограниченным. Расширяя рассматриваемую дефиницию, ЕТ-процессы мы определяем как существенные изменения традиционного способа функционирования энергетического сектора, которые приводят к существенному росту энергоэффективности [21]. В масштабах страны увеличение энергоэффективности количественно выражается в значительном снижении энергоемкости ВВП. При этом энергоэффективность не обязательно должна обеспечиваться только глобальной сменой первичных и вторичных энергоресурсов.

2. Основными драйверами глобальных энергопереходов всегда являлись научно-технический прогресс (НТП) в совокупности с энергетической политикой государства. Как было отмечено, со стороны НТП современные ЕТ-процессы объективно обусловлены накоплением критической массы продуктовых и процессных (технологических и управленческих) инноваций в энергетике, которые могут быть сгруппированы следующим образом [10]:

- технологии удешевляющие производство электроэнергии и тепла на основе нетрадиционных источников энергии;
- технологии накопления и хранения энергии;
- цифровые и интеллектуальные технологии в энергетике.

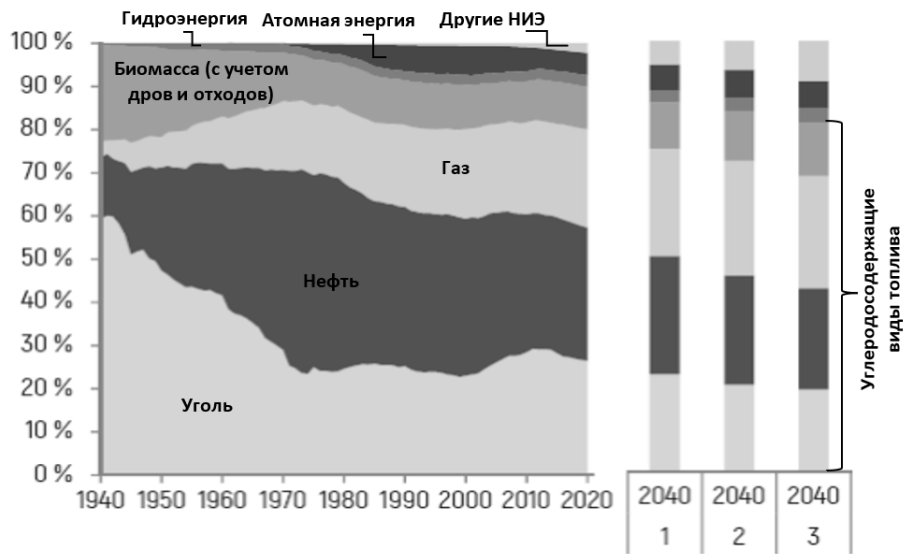


Рис. 1. Динамика структуры мирового энергопотребления по видам топлива

Fig. 1. Dynamics of the structure of world energy consumption by fuel type

2040 г. в соответствии со сценариями, разработанными ИНЭИ РАН: 1 – Консервативный; 2 – Инновационный; 3 – Энергопереход

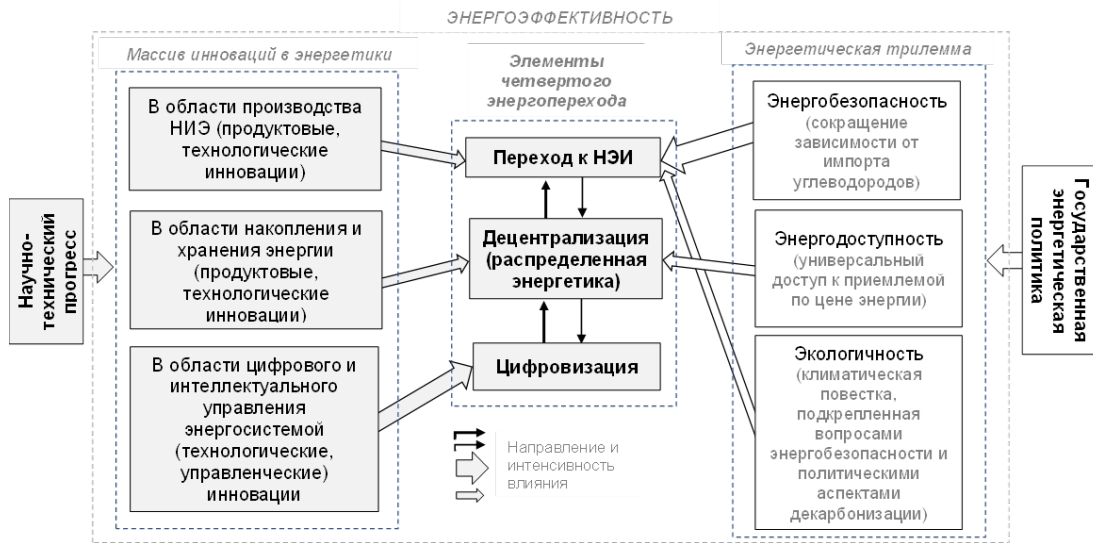


Рис. 2. Взаимосвязь основных элементов и определяющих драйверов четвертого глобального энергоперехода (широкий подход)

Fig. 2. Interrelation of key elements and drivers of the fourth global energy transition (broad approach)

Развитие указанных технологий определяет формирование соответствующих элементов четвертого энергоперехода, а именно переход к НИЭ, децентрализацию и цифровизацию энергетики (рис. 2).

Как видно, расширение использования НИЭ является лишь частью ЭТ-элементов. При этом ключевой особенностью, отличительной от предшествующих глобальных энергопереходов, является наличие элемента цифровизации, а также его весьма значимая роль в обеспечении функционирования других элементов перехода. Процессы цифровизации начинают играть роль драйвера в большинстве сфер современной экономики [15, 19]. Цифровые и интеллектуальные техно-



логии в энергетике связаны с накоплением и анализом данных, а также обменом данными между элементами системы, то есть цифровым и интеллектуальным управлением энергосистемой, гибким построением сетей (smart energy, smart grid) [16]. По сути, цифровизация является определяющей в самой возможности перехода к НИЭ через формирование элемента децентрализации.

3. Государственная энергетическая политика, как второй драйвер энергоперехода, заключается в использовании различного рода регулятивных инструментов, реализуемых сквозь призму энергетической трилеммы. К данным инструментам, в частности, относятся прямая и косвенная финансовая поддержка (например, субсидии и налоги соответственно), инструменты регулирования потребления и, следовательно, спроса на тот или иной вид топлива, формирование стандартов в области энергетики и т.д. Указанные механизмы могут оказывать очень существенное влияние на энергобаланс, при определенных условиях перевешивающее воздействие объективных факторов.

В качестве особенности современного энергоперехода выделяется превалирование в государственной энергетической политике большинства развитых стран экологических задач над прочими запросами общества, что определяет фокусировку внимания на вопросах развития НИЭ [10]. В то же время определенные шаги стран ЕС, например, говорят скорее об акценте на проблемах обеспечения энергобезопасности своих стран за счет сокращения зависимости от импорта углеводородов в условиях развития НИЭ [4, 7]. Также климатическая повестка зачастую является прикрытием политического и экономического давления на страны-экспортеры углеводородов. О данных тенденциях свидетельствует, в частности, тот факт, что абсолютное большинство национальных планов, принимаемых по результатам последних климатических конференций, сфокусировано именно на вопросах декарбонизации энергетики. Другим направлениям климатической повестки уделяется достаточно формальное внимание. В большей степени вопросами климата, а именно качества воздуха в крупных городах, обеспокоены правительства активно развивающихся стран (Китай, Индия). Однако в этих странах речь ведется не о полном отказе от углеводородов и переходе к НИЭ, а в первую очередь, о перераспределении в балансе углеводородов в пользу более экологичных их видов.

4. С учетом полученных результатов ключевым элементом энергоперехода от сложившихся энергосистем 20-го столетия к новому энергетическому укладу 21-го века должны стать процессы формирования распределенной энергетики (Distributed Energy Resources, DER). На основе анализа имеющихся подходов к определению термина «распределенная энергетика», а также исследований концептуальных основ DER нами получено заключение о том, что основным критерием отнесения объекта к распределенной энергетике является близость к непосредственному потребителю (потребителям), нивелирующая потребность в магистральных транспортных сетях высокой мощности [3, 6, 8, 11]. Могут иметь место подключение к распределительной сети либо поставки непосредственно потребителю. При этом изначально уровень мощности объекта и технология значения не имеют, но на основе объективных причин в границах распределенной энергетики возникают тенденции к снижению единичной мощности [18], а также в направлении зеленых технологий.

Модель, которая ранее определялась в основном термином «малая энергетика» существует с момента начала функционирования энергосистемы общества, решая проблему тепло и электроснабжения удаленных районов [13]. Последние десятилетия мировой тенденцией является появление новых направлений развития малой энергетики, расположение объектов которой определяется не только фактором труднодоступности территорий. В частности, распределенная генерация начинает встраиваться в существующую энергосистему. Эта ситуация приводит к возникновению конкуренции между двумя типами энергосистем, что обуславливает различного рода экономические и институциональные последствия, которые необходимо учитывать, как при принятии текущих решений, так и в перспективном стратегическом планировании.



5. Возникновение потребностей в развитии DER одновременно подкрепляется возможностями, которые на современном этапе предоставляет научно-технический прогресс. В соответствии с представленными выше результатами катализатором современного энергоперехода являются цифровые инновации, в свою очередь обуславливающие формирование ключевого элемента децентрализации энергетических систем, через обеспечение возможности управления DER (интернет энергии, облачные хранилища, умные системы учета и т.п.), а также качественных изменений на энергетическом рынке (появление новых типов участников (например, просьюмеров), новые платежные технологии, блокчейн, smart-контракты и т.п.). Все это в свою очередь, во-первых, обеспечивает снижение, как трансформационных (за счет балансировки загрузки и соответственно обеспечения эффективности использования активов, что снижает единичную мощность энергетических объектов, сокращая размер капитальных вложений), так и транзакционных (за счет оптимизации взаимодействий) издержек [12]. Во-вторых, на основе цифрового развития рыночных механизмов появляется возможность трансформировать указанное сокращение издержек в снижение стоимости энергии для потребителей.

6. В настоящий момент в России действует целый пул объективных предпосылок инновационного развития распределенной энергетики. Это, в частности, неэффективность текущей архитектуры всего энергетического комплекса, в особенности электроэнергетики, связанная, как с общей технологией построения энергосистемы, характеризующейся существенной величиной потерь в сетях большой протяженности (удаленности потребителя от места генерации), так и с реализуемой слаборыночной бизнес-моделью (по оценкам экспертов доля рынка составляет около 15%), сопровождающейся всеми видами перекрестного субсидирования [2]. Традиционные сети и генерирующие станции характеризуются высоким уровнем износа, физического и, в большей степени, морального, используя технологии середины прошлого века, что также свидетельствует о неэффективном состоянии отрасли.

Продолжительное время российская государственная энергетическая политика игнорировала все сложившиеся векторы развития DER. В результате, только под действием экономических стимулов начался отток потребителей из единой энергосистемы. Инвестиционные затраты на создание собственных локальных сетей оказываются ниже отрицательных эффектов сложившегося ценообразования. При этом по причине однонаправленности существующей архитектуры сетей (производитель-потребитель) снижение объемов практически не происходит, что увеличивает финансовую нагрузку на остающихся потребителей, запуская новый виток экономических стимулов к уходу из единой сети. При этом коронкризис только усилил сложившиеся противоречия и укрепил предпосылки развития DER [9]. Складывающаяся ситуация в долгосрочной перспективе подрывает всю российскую энергосистему и свидетельствует о потенциальном снижении конкурентоспособности страны в долгосрочной перспективе.

### **Заключение**

1. Основываясь на расширенной дефиниции понятия «энергопереход», как масштабных изменений традиционного способа функционирования энергетического сектора, обеспечивающих существенный рост энергоэффективности, сделан вывод, что игнорирование ИТ-процессов означает выбор неэффективной направленности и потерю конкурентоспособности национальной экономики в долгосрочной перспективе.

2. Действия драйвера современного научно-технического прогресса формирует такую отличительную особенность четвертого энергоперехода, как наличие и обеспечивающая роль элемента цифровых инноваций, связанного с цифровым и интеллектуальным управлением и гибким построением энергетических сетей.

3. Развиваясь в указанном направлении, цифровизация обуславливает возможности построения энергосистемы на инновационных распределенных принципах (формирование элемента де-

централизации), что существенно расширяет условия применения нетрадиционных источников энергии, объекты генерации которых характеризуется относительно малой мощностью и непосредственной близостью к потребителю.

4. Формирование распределенной энергетики, как элемента децентрализации, на основе инновационного цифрового базиса обеспечивает такие эффекты как диверсификация энергоресурсов за счет расширения возможностей использования НЭИ, а также вторичных источников энергии (являющихся в настоящее время потерями экономических систем), обеспечение возможности независимого функционирования энергосистемы в случае необходимости (например в периоды природных или техногенных катаклизмов), демонополизация внутренних энергетических рынков, обеспечивающая не только сокращение трансформационных, но и транзакционных издержек, и ведущая к снижению затрат потребителей, что обеспечивает, как непосредственно их эффективность, так и мультипликативный эффект для экономических систем более высокого уровня.

#### **Направления дальнейших исследований**

Принимая тезис об определяющей роли элементов децентрализации и цифровизации в современных переходных процессах, необходимо направление фокуса исследований в область разработки мер по реформированию энергетической отрасли России с учетом внедрения инноваций в области распределенной и цифровой энергетики. Утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 октября 2021 г. № 3052-р Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г., фактически игнорирует DER, оставляя ей старую роль малой энергетики. В то же время развитие распределенной энергетики в России, во-первых, уже является фактом, свершившимся под действием большого количества рыночных стимулов, а, во-вторых, при адекватной государственной поддержке инновационно-цифровых направлений может стать платформой для плавного энергоперехода, позволяющей реализовать, как генерируемые им возможности, так и в оптимальной степени нейтрализовать возникающие угрозы.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Бахтизина Н.В., Бахтизин А.Р. Инвестиции в энергопереход и инструменты финансирования. *Федерализм*. 2021;(1): 100–114. <https://doi.org/10.21686/2073-1051-2021-1-100-114>.
2. Вавина Е. 20 лет электроэнергетики в России – от РАО «ЕЭС России» до либерализации рынка. 10.12.2019. URL: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2019/12/10/818261-20-elektroenergetiki>. (дата обращения: 03.11.2021).
3. Гасникова А. А. Роль традиционной и альтернативной энергетики в регионах Севера / А.А. Гасникова // *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*. – 2013. – № 5 (29). – С. 77–88.
4. Геополитика «Зеленой сделки» Европейского союза / М. Леонард, Ж. Пизани-Ферри, Д. Шапиро [и др.] // *Вестник международных организаций: образование, наука, новая экономика*. – 2021. – Т. 16. – № 2. – С. 204–235. – DOI: 10.17323/1996-7845-2021-02-10
5. Жизнин С.З., Черечукин А.В., Белодедов М.И. Новый этап конкуренции полезных ископаемых в период пандемии. *Уголь*, no. 1 (1138), 2021, pp. 46–49.
6. Кармак М.А. Условия повышения эффективности инвестиций в объекты малой распределенной энергетики / М.А. Кармак, У.И. Плоткина // *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки*. – 2013. – № 2 (168). – С. 100–104.
7. Кулапин А.И. Энергетический переход: Россия в глобальной повестке / А.И. Кулапин // *Энергетическая политика*. – 2021. – № 7 (161). – С. 10–15. – DOI: 10.46920/2409-5516\_2021\_7161\_10





8. **Любимова Н.Г.** Определение понятия «распределенная энергетика» / Н.Г. Любимова // Вестник университета. – 2014. – № 5. – С. 103–105.
9. **Митрова Т.** Российский ТЭК между COVID-19 и энергопереходом. 19.05.2020. URL: <https://www.vedomosti.ru/opinion/articles/2020/05/18/830509-rossiiskii-tek> (дата обращения: 03.11.2021).
10. Прогноз развития энергетики мира и России 2019 / под ред. А.А. Макарова, Т.А. Митровой, В.А. Кулагина; ИНЭИ РАН–Московская школа управления СКОЛКОВО – Москва, 2019. – 210 с. – ISBN: 978-5-91438-028-8
11. Распределенная энергетика в России: потенциал развития. Январь 2018. URL: [https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO\\_EneC\\_DER-3.0\\_2018.02.01.pdf](https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_DER-3.0_2018.02.01.pdf) (дата обращения: 03.11.2021).
12. Трансформация модели затрат промышленной бизнес-системы в условиях инновационной экономики / Д.С. Демиденко, П.И. Ваганов, Н.В. Кваша, Е.Д. Малевская-Малевич // Экономическое возрождение России. – 2020. – № 1 (63). – С. 79–88.
13. **Усачева И.В.** Микросети для локального энергоснабжения децентрализованных потребителей: обзор международного опыта / И.В. Усачева, Л.В. Пономарева, В.В. Антоненко // Научные труды Вольного экономического общества России. – 2021. – Т. 229. – № 3. – С. 167–184. – DOI: 10.38197/2072-2060-2021-229-3-167-184
14. **Харланов А.С.** Нефтегазовый сектор в Индустрии 4.0: переход на возобновляемые источники энергии и итоги цифровизации. Современные технологии управления, no. 2 (95), 2021. DOI: 10.24412/2226-9339-2021-295
15. Цифровизация экономических систем: теория и практика / А.В. Бабкин, Р.И. Акмаева, Ю.Д. Александров [и др.]. – Санкт-Петербург: Политех-Пресс, 2020. – 796 с. – ISBN: 978-5-7422-6931-1. – DOI: 10.18720/IEP/2020.3
16. **Fang X., Misra S., Xue G. and Yang D.** Smart Grid — The New and Improved Power Grid: A Survey. in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 14, no. 4, pp. 944–980, Fourth Quarter 2012, DOI: 10.1109/SURV.2011.101911.00087
17. **Gielen D., Boshell F., Saygin D., Bazilian M.D., Wagner N., Gorini R.** The role of renewable energy in the global energy transformation. Energy Strategy Reviews. Vol. 24, 2019, pp. 38–50. ISSN: 2211-467X, <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.01.006>
18. **Kvasha N.V.** Industrial development in the conditions of digitalization of infocommunication technologies / N.V. Kvasha, D.S. Demidenko, E.A. Voroshin // St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics. – 2018. – Vol. 11. – No 2. – Pp. 17–27. – DOI: 10.18721/JE.11202
19. **Kvasha N.** Information Modeling Technology as the Integrating Basis of the Development Investment Process / N. Kvasha, E. Malevskaya-Malevich, S. Kornilova // Communications in Computer and Information Science. – 2021. – Vol. 1445. – Pp. 59–72. – DOI: 10.1007/978-3-030-84845-3\_4
20. **Lohrmann A., Farfan J., Caldera U., Lohrmann C., Breyer C.** Global scenarios for significant water use reduction in thermal power plants based on cooling water demand estimation using satellite imagery. Nature Energy, 2019, vol. 4, pp. 1040–1048. DOI: 10.1038/s41560-019-0501-4
21. **Smil V.** Energy transitions: global and national perspectives. – ABC-CLIO, 2016.
22. **Tan H., Li J., He M., Li J., Zhi D., Qin F., Zhang C.** Global evolution of research on green energy and environmental technologies: A bibliometric study. Journal of Environmental Management. Volume 297. 2021, 113382. ISSN: 0301-4797, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113382>

## REFERENCES

1. **N.V. Bakhtizina, A.R. Bakhtizin,** Investitsii v energoperekhod i instrumenty finansirovaniya. Federalizm. 2021;(1): 100–114. <https://doi.org/10.21686/2073-1051-2021-1-100-114>
2. **Ye. Vavina,** 20 let elektroenergetiki v Rossii – ot RAO «YeES Rossii» do liberalizatsii rynka. 10.12.2019. URL: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2019/12/10/818261-20-elektroenergetiki>. (data obrashcheniya: 03.11.2021).
3. **A.A. Gasnikova,** Rol traditsionnoy i alternativnoy energetiki v regionakh Severa / A.A. Gasnikova // Ekonomicheskiye i sotsialnyye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz. – 2013. – № 5 (29). – С. 77–88.

4. Geopolitika «Zelenoy sdelki» Yevropeyskogo soyuza / M. Leonard, Zh. Pizani-Ferri, D. Shapiro [i dr.] // Vestnik mezhdunarodnykh organizatsiy: obrazovaniye, nauka, novaya ekonomika. – 2021. – T. 16. – № 2. – S. 204–235. – DOI: 10.17323/1996-7845-2021-02-10
5. **S.Z. Zhiznin, A.V. Cherechukin, M.I. Belodedov**, Novyy etap konkurentsii poleznykh iskopayemykh v period pandemii. Ugol, no. 1 (1138), 2021, pp. 46–49.
6. **M.A. Karmak**, Usloviya povysheniya effektivnosti investitsiy v obyekty maloy raspredelennoy energetiki / M.A. Karmak, U.I. Plotkina // Nauchno-tehnicheskiye vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Ekonomicheskkiye nauki. – 2013. – № 2 (168). – S. 100–104.
7. **A.I. Kulapin**, Energeticheskiy perekhod: Rossiya v globalnoy povestke / A. I. Kulapin // Energeticheskaya politika. – 2021. – № 7 (161). – S. 10–15. – DOI: 10.46920/2409-5516\_2021\_7161\_10
8. **N.G. Lyubimova**, Opredeleniye ponyatiya «raspredelennaya energetika» / N.G. Lyubimova // Vestnik universiteta. – 2014. – № 5. – S. 103–105.
9. **T. Mitrova**, Rossiyskiy TEK mezhdru COVID-19 i energoperekhodom. 19.05.2020. URL: <https://www.vedomosti.ru/opinion/articles/2020/05/18/830509-rossiiskii-tek>. (data obrashcheniya: 03.11.2021).
10. Prognoz razvitiya energetiki mira i Rossii 2019 / pod red. A.A. Makarova, T.A. Mitrovoy, V.A. Kulagina; INEI RAN–Moskovskaya shkola upravleniya SKOLKOVO – Moskva, 2019. – 210 s. – ISBN: 978-5-91438-028-8.
11. Raspredelennaya energetika v Rossii: potentsial razvitiya. Yanvar 2018. URL: [https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO\\_EneC\\_DER-3.0\\_2018.02.01.pdf](https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_DER-3.0_2018.02.01.pdf) (data obrashcheniya: 03.11.2021).
12. Transformatsiya modeli zatrat promyshlennoy biznes-sistemy v usloviyakh innovatsionnoy ekonomiki / D.S. Demidenko, P.I. Vaganov, N.V. Kvasha, Ye.D. Malevskaya-Malevich // Ekonomicheskoye vozrozhdeniye Rossii. – 2020. – № 1 (63). – S. 79–88.
13. **Usacheva I.V.** Mikroseti dlya lokalnogo energosnabzheniya detsentralizovannykh potrebiteley: obzor mezhdunarodnogo opyta / I.V. Usacheva, L.V. Ponomareva, V.V. Antonenko // Nauchnyye trudy Volnogo ekonomicheskogo obshchestva Rossii. – 2021. – T. 229. – № 3. – S. 167–184. – DOI: 10.38197/2072-2060-2021-229-3-167-184.
14. **Kharlanov A.S.** Neftegazovyy sektor v Industrii 4.0: perekhod na vozobnovlyayemye istochniki energii i itogi tsifrovizatsii. Sovremennyye tekhnologii upravleniya, no. 2 (95), 2021. DOI: 10.24412/2226-9339-2021-295
15. Tsifrovizatsiya ekonomicheskikh sistem: teoriya i praktika / A.V. Babkin, R.I. Akmayeva, Yu.D. Aleksandrov [i dr.]. – Sankt-Peterburg : Politekh-Press, 2020. – 796 s. – ISBN: 978-5-7422-6931-1. – DOI: 10.18720/IEP/2020.3
16. **X. Fang, S. Misra, G. Xue, D. Yang**, Smart Grid — The New and Improved Power Grid: A Survey. in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 14, no. 4, pp. 944–980, Fourth Quarter 2012, DOI: 10.1109/SURV.2011.101911.00087
17. **D. Gielen, F. Boshell, D. Saygin, M.D. Bazilian, N. Wagner, R. Gorini**, The role of renewable energy in the global energy transformation. Energy Strategy Reviews. Vol. 24, 2019, pp. 38–50. ISSN: 2211-467X, <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.01.006>
18. **N.V. Kvasha**, Industrial development in the conditions of digitalization of infocommunication technologies / N.V. Kvasha, D.S. Demidenko, E.A. Voroshin // St.Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics. – 2018. – Vol. 11. – No. 2. – Pp. 17–27. – DOI: 10.18721/JE.11202
19. **N. Kvasha**, Information Modeling Technology as the Integrating Basis of the Development Investment Process / N. Kvasha, E. Malevskaya-Malevich, S. Kornilova // Communications in Computer and Information Science. – 2021. – Vol. 1445. – Pp. 59–72. – DOI: 10.1007/978-3-030-84845-3\_4
20. **A. Lohrmann, J. Farfan, U. Caldera, C. Lohrmann, C. Breyer**, Global scenarios for significant water use reduction in thermal power plants based on cooling water demand estimation using satellite imagery. Nature Energy, 2019, vol. 4, pp. 1040–1048. DOI: 10.1038/s41560-019-0501-4
21. **V. Smil**, Energy transitions: global and national perspectives. – ABC-CLIO, 2016.
22. **H. Tan, J. Li, M. He, J. Li, D. Zhi, F. Qin, C. Zhang**, Global evolution of research on green energy and environmental technologies: A bibliometric study. Journal of Environmental Management. Vol. 297. 2021, 113382. ISSN: 0301-4797, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113382>

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / THE AUTHOR**

**КВАША Надежда Владимировна**

E-mail: [nadia\\_kvasha@rambler.ru](mailto:nadia_kvasha@rambler.ru)

**KVASHA Nadezhda V.**

E-mail: [nadia\\_kvasha@rambler.ru](mailto:nadia_kvasha@rambler.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0489-7671>

**БОНДАРЬ Елена Григорьевна**

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

**BONDAR' Elena G.**

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8968-7026>

*Статья поступила в редакцию 06.12.2021; одобрена после рецензирования 21.12.2021; принята к публикации 21.12.2021.*

*The article was submitted 06.12.2021; approved after reviewing 21.12.2021; accepted for publication 21.12.2021.*