

Роль цифровизации в глобальном энергетическом переходе и в российской энергетике^{1, 2}

В.А. Баринаова, А.А. Девятова, Д.Ю. Ломов

Баринаова Вера Александровна – к.э.н., руководитель Международной лаборатории исследования проблем устойчивого развития Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации (РАНХиГС); менеджер международной Сети по поиску решений в сфере устойчивого развития SDSN в России; Российская Федерация, 119571, Москва, просп. Вернадского, д. 82, стр. 1; barinova@ranepa.ru

Девятова Анна Алексеевна – специалист 1-й категории ООО «Единые транспортные энергосистемы»; Российская Федерация, 443079, Самара, проезд Георгия Митирева, д. 9, оф. 5; annadevyatova@bk.ru

Ломов Денис Юрьевич – студент 3-го курса по направлению «Политология» Института общественных наук Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации (РАНХиГС); Российская Федерация, 119571, Москва, просп. Вернадского д. 82, стр. 1; denlomov99@gmail.com

Аннотация

Во время пандемии COVID-19 цифровизация стала одной из наиболее популярных тем как в практической, так и в теоретической плоскости. Во многих сферах, например, в образовании и в коммуникациях, в период ограничений мобильности информационно-коммуникационные технологии стали играть едва ли не ведущую роль. Однако в некоторых других сферах, которые во время пандемии также оказались под пристальным вниманием, например, в сфере энергетического перехода, цифровизация пока не реализует свой потенциал в полной мере. Более того, цифровизация энергоперехода недостаточно исследована.

Восполнению этого пробела посвящена данная статья. В ней исследуется современный этап цифровизации энергетического сектора и роль информационно-коммуникационных технологий в традиционном энергетическом комплексе и в чистой энергетике. Цель статьи – выявление и анализ ключевых групп технологий, которые в ближайшее время окажут решающее влияние на энергетический переход. В ключевой части исследуется процесс цифровизации энергетики в России, чтобы сделать вывод о его стимулирующем эффекте для российского энергетического перехода.

Ключевые слова: энергетический переход, возобновляемые источники энергии (ВИЭ), цифровизация, интернет энергии, интернет вещей, большие данные, блокчейн

Для цитирования: Баринаова В.А., Девятова А.А., Ломов Д.Ю. Роль цифровизации в глобальном энергетическом переходе и в российской энергетике // Вестник международных организаций. 2021. Т. 16. № 4. С. 126–145 (на русском и английском языках). doi:10.17323/1996-7845-2021-04-06

¹ Статья поступила в редакцию 07.08.2021.

² Статья подготовлена в рамках выполнения научно-исследовательской работы государственно-го задания РАНХиГС.

Введение

Парижское соглашение по климату и Цели устойчивого развития (ЦУР) требуют фундаментальных изменений в глобальном энергетическом секторе, а именно снижения выбросов парниковых газов через энергетический переход. Это обусловлено тем, что на ископаемое топливо, которое используется преимущественно в целях получения энергии, приходится почти 85% всех глобальных выбросов парниковых газов [Global Carbon Project, 2020]. Поскольку энергетический сектор имеет важное геополитическое, экономическое, социальное и экологическое значение [IRENA, 2019a; Kivimaa, Sivonen, 2021; Sovacool, Hess, Cantoni, 2021], влияние и последствия энергоперехода выходят далеко за пределы данного сектора и имеют отношение к глобальному управлению в целом.

В общем понимании энергетический переход определяется как изменение структуры предложения первичной энергии, заключающееся в постепенном переходе от одного состояния энергетической системы к другому [Smil, 2010]. В мировой истории было несколько таких трансформаций. Первый энергетический переход был связан с замещением биомассы на уголь, второй — с увеличением доли нефти в первичном потреблении энергии, третий — с увеличением доли природного газа [Smil, 2018]. Современный — четвертый — энергопереход характеризуется широким распространением возобновляемых источников энергии (ВИЭ) без учета крупных гидроэлектростанций (ГЭС) и вытеснением ископаемых видов топлива. Он принципиально отличается от трех предыдущих энергопереходов, так как в его основе лежит не только повышение экономической эффективности и доступ к новым ресурсам, но и новый драйвер — борьба с изменением климата [Mitrova, Melnikov, 2019].

Четвертый энергетический переход уже начался и идет достаточно быстрыми темпами, особенно в секторе электроэнергетики. На современные ВИЭ³ без учета ГЭС приходилось 7,4% глобального совокупного конечного потребления энергии в 2018 г. и 11,7% глобального объема производства электроэнергии в 2019 г. [REN21, 2020]. Для сравнения, десятилетием ранее, в 2008 г., значения этих показателей составляли соответственно 2,8 и 3% [REN21, 2010].

Процесс энергетического перехода нельзя сводить к простой замене ископаемого топлива на возобновляемые источники энергии. Помимо непосредственно строительства новой генерации на ВИЭ, энергетический переход требует кардинальной трансформации отдельных энергетических отраслей, например, электрификации транспорта и отопления/охлаждения, развития новых зеленых энергоносителей, таких как зеленый водород, массового применения накопителей энергии. На пути энергетического перехода встречаются различные препятствия, в частности технологические, такие как сложность интеграции в сеть больших долей ВИЭ с переменной генерацией. Именно к этой категории ВИЭ относятся наиболее распространенные и быстро развивающиеся в настоящий момент солнечная и ветровая генерация. Еще одним важным барьером энергетического перехода является принципиальное усложнение энергетической системы, связанное с внедрением ВИЭ. Так, распространение возобновляемых источников энергии приводит к появлению большого числа генераторов малой мощности (солнечные панели на крышах домохозяйств) и просьюмеров — участников рынка, которые одновременно являются производителями и потребителями энергии. Электрификация транспорта и отопления в целях перевода этих секторов на ВИЭ спо-

³ ВИЭ без учета традиционной биомассы, такой как дрова, хворост и т.д.

способствует появлению большого объема новой нагрузки — электромобилей, тепловых насосов и др. Все это делает централизованные энергосистемы все менее эффективными. Снизить перечисленные барьеры и наладить управление стремительно усложняющимися энергетическими системами можно за счет внедрения новых цифровых технологий.

В одном из исследований Международного агентства по возобновляемым источникам энергии цифровизация, наряду с электрификацией и децентрализацией, причислена к трем важнейшим инновационным трендам, которые меняют парадигму в энергетике, делая глобальный энергетический сектор более дружелюбным к ВИЭ, позволяя его участникам менять роли и меняться ролями и открывая двери новым игрокам [IRENA, 2019c]. Появилось даже понятие «трех д» в возобновляемой энергетике — декарбонизация, децентрализация и диджитализация [IRENA, 2017]. Более того, цифровизация облегчает электрификацию и децентрализацию в энергетике [IRENA, 2018]. В развивающихся странах цифровизация энергетического сектора поможет существенно ускорить электрификацию, аналогично тому, как это произошло с телефонной связью, когда в странах с неразвитой фиксированной телефонной связью сразу начала развиваться мобильная связь.

При этом важно разграничивать оцифровку и цифровизацию. Под оцифровкой принято понимать перевод данных из аналогового вида в цифровой, а под цифровизацией, или цифровой трансформацией, обычно подразумевается использование оцифрованных данных для принятия решений в целях повышения производительности, безопасности и устойчивости энергосистем [Verma et al., 2020].

Тема цифровизации в последнее время привлекает к себе огромное внимание. Это связано с тем, что во время пандемии COVID-19 в 2020 г. многим организациям практически во всех странах мира пришлось в значительной степени перейти на удаленный режим работы, который невозможен без информационно-коммуникационных технологий. Быстрое развитие дистанционной работы в условиях ограничений, а также замена очных встреч и мероприятий на телеконференции показали, что потенциал цифровизации ряда видов деятельности (включая, например, образование) существенно больше, чем ожидалось [Dutta, Lanvin, 2020]. И совершенно логично ожидать, что потенциал цифровизации других отраслей, включая энергетический сектор, не менее велик и недостаточно реализован.

Возможности применения цифровых технологий для снижения барьеров энергетического перехода недостаточно изучены в мировой научной литературе [Loock, 2020], хотя в современном мире цифровые технологии способны стать основой управления энергетическими системами. В исследовании этих возможностей и заключается цель данной статьи. Она состоит из трех частей. В первой части мы рассматриваем базовые характеристики цифровизации энергетики. Вторая часть посвящена определению и анализу ключевых цифровых технологий энергетического перехода для выявления их потенциала и барьеров, препятствующих их развитию. В третьей части рассматриваются усилия России по цифровизации энергетики и анализируется, насколько эти усилия способствуют энергетическому переходу. Мы пытаемся найти ответы на следующие вопросы: какие цифровые технологии в наибольшей степени способствуют энергетическому переходу? в чем конкретно заключается их вклад? развиваются ли эти технологии в российском энергетическом секторе?

Базовые характеристики цифровизации энергетики

Исторически сложилось так, что энергетический сектор стал одним из пионеров внедрения цифровых технологий. В 1970-е годы цифровые технологии применялись в электроэнергетике для повышения эффективности управления сетями. Нефтегазовые компании в течение длительного времени используют цифровые технологии для принятия решений относительно разведки месторождений и управления нефте- и газопроводами. Промышленный сектор, в особенности тяжелая промышленность, десятилетиями использует цифровые технологии для повышения качества и объемов выработки при одновременном сокращении объемов потребления энергии [IEA, 2017]. При этом следует отметить, что в угольной, а также в нефтегазовой отраслях все же преобладает не цифровая среда, а тяжелое оборудование, и уровень цифровой интеграции в этих отраслях до настоящего времени все же был относительно более низким по сравнению с другими отраслями [Verma et al., 2020].

Предположительно цифровизация открывает существенно больше возможностей для технологий чистой энергетики, чем для традиционного топливно-энергетического комплекса. Так, в исследовании Верма и др. [Verma et al., 2020] в ч. 18, касающейся возможностей различных участников энергетического сектора на стороне предложения, связанных с цифровизацией, лишь один пункт посвящен угольной и нефтегазовой отрасли, а остальные четыре – в основном технологиям чистой энергетики. Угольная и нефтегазовая отрасли могут продолжать внедрять сенсоры, автоматизировать процессы, осуществлять удаленный мониторинг, в то время как сектор ВИЭ может кардинально повысить свою эффективность и возможности интеграции в энергосистему. Децентрализация электроэнергетики, прежде всего с использованием ВИЭ, создает риски для традиционных бизнес-моделей электроэнергетических компаний. С помощью цифровых технологий управление системами, состоящими преимущественно из объектов ВИЭ и накопителей, позволит своевременно реагировать на колебания в объемах выработки электроэнергии. Многочисленные потребители энергии также смогут стать ее производителями без угрозы для стабильности сети. Цифровизация чистой энергетики, охватывающая не только возобновляемую энергетику, но и различные смежные технологии, такие как электротранспорт, накопители энергии, децентрализованные сети, позволит создать новые бизнес-модели и поменять роли различных участников в энергосистеме.

Согласно исследованию Бута и др. [Booth, Patel, Smith, 2020], традиционные энергетические компании не смогли создать ощутимой коммерческой ценности за счет внедрения цифровых технологий ввиду инерционности их развития, которую сложно преодолеть. В частности, в традиционной энергетике преобладают физические активы, объемы инвестиций огромны, а создание прибыли представляет собой сложный процесс. Поэтому любые предложения, касающиеся инвестиций в новые технологии, сталкиваются с жестким отбором и необходимостью доказательства их целесообразности. Кроме того, в нефтегазовых и электроэнергетических компаниях ключевую роль играют инженеры, и многие топ-менеджеры таких компаний – это бывшие инженеры. Следовательно, компании традиционной энергетике обычно отдают предпочтение большим и сложным проектам, в которых недостаточно возможностей для гибкости и быстрых решений. Такие характеристики препятствуют внедрению цифровых технологий, которые как раз требуют высокой скорости решений, гибкости и готовности к риску.

Согласно одному из тезисов Бута и др. [Booth, Patel, Smith, 2020], в традиционной энергетике внедрение цифровых технологий существовало больше в дискуссиях, чем в реальности. В другом исследовании также отмечается, что нефтегазовый сектор не

использовал многие возможности, связанные с применением данных и цифровых технологий. Кроме того, многим нефтегазовым компаниям сложно транслировать цифровую эффективность в улучшение финансовых показателей и развитие бизнеса [Smart, 2017].

Цифровизация может рассматриваться как угроза существующей энергосистеме и, в частности, традиционной энергетике. Масштабная и глобальная цифровизация энергетического сектора, безусловно, внесет в него принципиальные изменения. При этом внедрение цифровых технологий открывает огромные возможности для преодоления барьеров, с которыми в настоящее время сталкивается энергетический сектор. В частности, цифровизация укрепит энергетическую безопасность, расширит всеобщий доступ к энергии и снизит негативное воздействие энергетике на окружающую среду. Кроме того, поскольку цифровизация обычно повышает эффективность, можно ожидать сокращения расходов на энергию. Так, по оценкам МЭА [IEA, 2017], цифровизация может сократить затраты производителей на производство электроэнергии на 80 млрд долл. США в год в 2016–2040 гг., что составит около 5% от ежегодных валовых затрат на производство электроэнергии. Это может произойти за счет снижения операционных расходов и расходов на обслуживание объектов генерации, повышения эффективности объектов генерации и сетей, снижения числа аварий и простоев, а также за счет продления срока эксплуатации оборудования.

Цифровые технологии энергоперехода

Традиционные энергетические системы не предназначены для интеграции больших долей генерации с переменной выработкой, а также распределенной генерации. Имеющаяся в мире сетевая инфраструктура в большинстве случаев слишком стара, неэффективна, ненадежна и не предоставляет достаточной защиты от неожиданных изменений в объемах выработки электроэнергии электростанциями [Jha et al., 2017]. Применение цифровых технологий позволяет оптимизировать функционирование объектов ВИЭ в энергетических системах и, как следствие, повышает эффективность и надежность энергетических систем с большими долями ВИЭ. Международное агентство по возобновляемым источникам энергии выделяет следующие ключевые группы цифровых технологий, способствующих внедрению ВИЭ [IRENA, 2019b]:

- интернет вещей;
- искусственный интеллект и большие данные;
- блокчейн.

В настоящее время также обсуждается развитие энергетических систем до уровня энергетического интернета, который предоставит возможности применения всех трех выделенных Международным агентством по возобновляемым источникам энергии групп цифровых технологий. Считается [Zhang, 2021], что впервые термин «энергетический интернет» был предложен в книге известного американского исследователя Дж. Рифкина «Третья промышленная революция» [Rifkin, 2013]. Предложенный им энергетический интернет обладает следующими характеристиками: (1) первичная энергия трансформируется в возобновляемую, (2) системы распределенной генерации и малые накопители энергии связаны друг с другом, а режимы их доступа к сети постепенно диверсифицируются, (3) различные источники энергии в различных географических точках могут быть объединены с использованием интернет-технологий, (4) интернет энергии поддерживает развитие электрификации. Таким образом, развитие интернета энергии будет способствовать электрификации и постепенному переходу на

возобновляемые источники. При этом следует подчеркнуть, что энергетический интернет пока еще является развивающейся концепцией, а само определение энергетического интернета вызывает немало споров.

В работе Ву и др. [Wu et al., 2021] выделяются две ключевые группы цифровых технологий, способствующих развитию энергетического интернета: интернет вещей и блокчейн. При этом отмечается, что интернет вещей способствует развитию таких инновационных информационно-коммуникационных технологий, как искусственный интеллект, большие данные и облачные технологии. Таким образом, в данной работе интернет вещей, искусственный интеллект и большие данные фактически объединены в одну группу технологий.

Некоторые авторы делают акцент на платформизации энергоснабжения, которая также применяет перечисленные три группы цифровых технологий. Энергетические платформы используют цифровую среду для объединения потребителей энергии и поставщиков энергоресурсов, способствуя децентрализации и обмену энергией от распределенных источников [Kloppenborg, Boekelo, 2019]. Шеринговые платформы и экономика совместного пользования уже получили развитие во многих отраслях, таких как аренда жилья, автомобилей, оборудования, однако их развитие в энергетическом секторе только начинается. Тем не менее уже существуют многочисленные успешные проекты и бизнес-модели. Например, голландская платформа Powerpeers позволяет домохозяйствам выбирать просьюмеров, у которых они будут закупать электроэнергию. Аналогичные услуги оказывает немецкая платформа SonnenCommunity, однако ее участниками являются исключительно просьюмеры с литиевыми аккумуляторами. Американская платформа SunShare Community Solar позволяет домохозяйствам, которые не могут или не желают устанавливать собственные солнечные панели на крышах своих домов, приобретать доли в солнечных электростанциях и за счет этого сокращать счета за электроэнергию [Kloppenborg, Boekelo, 2019].

Далее мы рассмотрим особенности каждой из перечисленных групп технологий, а также определим их потенциал и ограничения.

Интернет вещей

Недавний стремительный рост числа используемых мобильных устройств, различных средств коммуникации и интереса к облачным технологиям и анализу больших данных поставил вопрос о возможности взаимодействия множества устройств друг с другом. Для решения такого рода задач объекты могут автоматически обмениваться информацией, осуществлять ее обработку и создавать новые связи друг с другом через беспроводные и проводные соединения. Данная технология получила название «интернет вещей». По имеющимся оценкам, число подключенных устройств интернета вещей возросло с 8,4 млрд в 2017 г. до 20 млрд в 2020 г. [IEA, 2017].

Интернет вещей открывает огромные возможности для энергетического сектора, особенно в области возобновляемой энергетики. Умная система, основанная на технологии интернета вещей, способна интегрировать все устройства, находящиеся как на стороне спроса (например, электрические приборы, электромобили), так и на стороне предложения (например, солнечные и ветровые электростанции), что позволит управлять спросом и повышать эффективность систем электроснабжения.

В настоящее время применение технологии интернета вещей возможно на различных этапах жизненного цикла электроэнергии, начиная с этапа планирования производства. Уже сейчас тестируются различные технологии, отслеживающие, например,

движение облаков или характеристики ветра, и использующие полученные данные для прогнозирования выработки электроэнергии объектами ВИЭ. Также автоматизированный мониторинг на каждом объекте позволяет делать более точные прогнозы для более эффективной эксплуатации объектов. С помощью интернета вещей можно значительно улучшить способность сетей предоставлять услуги по балансировке, агрегированию и управлению нагрузками, а также автоматизировать работу подстанций, что, в свою очередь, приведет к созданию полностью автономных энергетических сетей, способных самостоятельно справляться с неожиданным сокращением выработки объектов ВИЭ. Как следствие, это повысит устойчивость и стабильность сетей. Другим не менее важным способом применения технологии может быть ее использование для автоматизированного управления спросом на энергию с помощью коммуникации между электрическими приборами. Использование разной сложности технологий, например, для контроля за температурой в комнате или объемом потребления энергии целого здания, будет значительно экономить общее энергопотребление и снижать нагрузки там, где в данный момент энергия может не использоваться (например, когда в помещениях нет людей).

Однако массовое распространение интернета вещей в энергетическом секторе еще не началось. Более того, оно может быть сопряжено с рядом проблем. В частности, может возникнуть проблема безопасности и приватности данных, а также безопасности обмена данными. Еще одна проблема заключается в совместимости различных протоколов и методов шифрования. Важно также, насколько быстро их можно «подружить».

Искусственный интеллект и большие данные

Под искусственным интеллектом можно понимать технологии, использующие данные, в особенности в больших объемах (большие данные), для разработки моделей, часто при помощи алгоритмов машинного обучения, которые могут выполнять функцию информирования или функцию автоматического принятия решений [Boza, Evgeniou, 2021]. Поскольку система распределения электроэнергии постоянно усложняется, человеку все сложнее ее контролировать в ручном режиме. Искусственный интеллект нужен для того, чтобы автоматически принимать решения, когда в энергосистеме присутствуют тысячи домохозяйств с установленными микрогенерирующими объектами ВИЭ и накопителями энергии.

В сфере возобновляемой энергетики искусственный интеллект пока используется в основном для прогнозирования погоды и объемов выработки объектами ВИЭ с переменной генерацией, а также для обслуживания объектов ВИЭ. Однако он может применяться на всех этапах жизненного цикла электроэнергии. В будущем по мере увеличения доли ВИЭ ожидается, что искусственный интеллект станет ключевой технологией в прогнозировании и – самое главное – будет включен в процессы принятия решений. Искусственный интеллект позволит автоматизировать действия, которые сейчас совершаются в ручном режиме. Таким образом, произойдет еще большая автоматизации на всей цепочке создания энергетической единицы, от производства до распределения и потребления.

На этапе производства электроэнергии искусственный интеллект имеет первостепенное значение в планировании выработки солнечных и ветровых электростанций. Максимально точное прогнозирование на кратковременный срок позволяет свести к минимуму избыточную выработку электроэнергии и сократить потребности в резерв-

ных мощностях, а следовательно, и расходы на их содержание [Zhou, Fu, Yang, 2016]. На этапах передачи и распределения электроэнергии искусственный интеллект поддерживает стабильность бесперебойной работы сети, предоставляя более точные прогнозы спроса и предложения. В связи с ожидаемым ростом децентрализованного распределения энергии важно регулировать возможные колебания и пиковые нагрузки в энергосистеме. Алгоритмы искусственного интеллекта оптимизируют выработку и потребление электроэнергии, принимая решения по модерации нагрузки на сеть, а в дальнейшем также смогут учитывать цены на электроэнергию в конкретных районах. Технологии искусственного интеллекта также могут выявлять возможные ошибки в системе, что позволяет более эффективно реагировать на критические ситуации и, таким образом, повышать безопасность всей инфраструктуры сети [IRENA, 2019b].

Технологии искусственного интеллекта способны ощутимо повысить эффективность энергопотребления непосредственно у потребителя. Анализируя данные энергетического поведения потребителя и, например, сравнивая их с температурой в помещении, искусственный интеллект может прогнозировать необходимую температуру и давать рекомендации по пользованию как всей системой отопления/охлаждения, так и конкретными приборами. Искусственный интеллект повышает эффективность управления системами хранения энергии. Например, алгоритмы искусственного интеллекта могут принимать решения о включении/выключении накопителей в пиковые нагрузки, а также прогнозировать срок службы накопителей и в целом управлять продажей/покупкой электроэнергии.

Применение технологий искусственного интеллекта способно существенно повысить экономическую эффективность возобновляемой энергетики. Например, согласно одному из исследований, повышение точности прогнозирования на 25% снижает затраты на производство солнечной электроэнергии на 0,33 долл. США / МВт·ч и 0,5 долл. США / МВт·ч при уровнях проникновения солнечной энергетики 9 и 18% соответственно [Martinez-Anido et al., 2016].

Развитие технологий искусственного интеллекта в сфере энергетики сталкивается с различными рисками и препятствиями, такими как проблема качества данных, дефицит квалифицированных экспертов, риск утечки данных, в том числе персональных, вопросы правовой защиты [Ahmad et al., 2021], риски кибератак, необходимость существенных первоначальных инвестиций в совершенствование систем управления данными [Voza, Evgeniou, 2021]. Однако потенциальная выгода от развития технологий искусственного интеллекта в энергетическом секторе делает оправданным поиск решения этих проблем.

Блокчейн

В последние годы в мире активно развивается технология блокчейна (распределенного реестра), которая может оказать существенное влияние в том числе на процесс энергоперехода. Блокчейн способен упростить создание платформ, работающих без посредников, для распределенных сетей интернета энергии [Сао, 2019], а также поддерживать микросети. Это будет способствовать автоматизации и повышению прозрачности распределения энергии. Применение блокчейна также может снизить транзакционные издержки и повысить безопасность транзакций [IRENA, 2019b]. Тем самым есть возможность уменьшить вероятность мошенничества или утечки данных в условиях повышающихся рисков кибератак.

Принято выделять три стадии развития технологии блокчейна [Ahl et al., 2020]: криптовалюты, умные контракты и децентрализованные автономные организации

(DAO). В настоящее время технология находится на второй стадии развития. Умные контракты представляют собой алгоритмы, которые автоматически перемещают цифровые активы в соответствии с заранее заданными правилами [Buterin, 2014]. Третья стадия предполагает заключение долгосрочных умных контрактов, которые будут управлять активами и кодировать уставы организаций [Buterin, 2014].

Применительно к энергетике умные контракты работают по принципу «если..., то...» и обеспечивают автоматическое выполнение обязательств по условиям контракта, заключенного между производителями и потребителями электроэнергии. В те моменты, когда электрические сети нуждаются в энергии, происходит автоматическое инициирование транзакций с predetermined условиями. В периоды, когда генерация превосходит потребление, излишки электроэнергии направляются в хранилища.

Как отмечалось ранее, развитие ВИЭ приводит к децентрализации энергетического сектора, а также к росту числа мелких производителей энергии. Умные контракты облегчают переход от централизованного распределения энергии к децентрализованному и предоставляют всем участникам сети возможность совершать операции непосредственно с любыми другими участниками без посредников [IRENA, 2019b].

В децентрализованной модели создается больше стимулов для широкого внедрения распределенных ВИЭ, так как у всех членов сети появляется возможность продавать выработанную энергию. Технология блокчейна делает возможным автоматическую торговлю электроэнергией с помощью заранее заключенных умных контрактов между домохозяйствами, предприятиями и поставщиками.

Несмотря на очевидный потенциал технологии блокчейна в энергопереходе [Wu, Tran, 2018], внедрение технологии распределенного реестра в энергетике пока ограничено и сопряжено со множеством проблем, часть из которых освещена в работе А. Аля и др. [Ahl et al., 2020] и включает необходимость доступа к высокомоощным серверам, а также бесперебойному и надежному интернет-соединению. Еще одной проблемой является отсутствие нормативной базы для разрешения конфликтов вокруг блокчейна. В настоящий момент не определена процедура разрешения споров, например, по причине отмены транзакции. Само применение блокчейна в энергетическом секторе распространено исключительно в развитых странах, где уже существует необходимая инфраструктура (распределенные электрические сети). В развивающихся странах (например, в Китае), где распространены централизованные системы энергоснабжения, технологии блокчейна сталкиваются с препятствиями [Wang, Su, 2020].

В последние годы государство и частные компании в секторе ВИЭ уделяют блокчейну значительное внимание. Над применением блокчейна в энергетике работают около 200 компаний с инвестициями 466 млн долл. США. Более 70 проектов развиваются на глобальном уровне [IRENA, 2019b].

Цифровая трансформация российской энергетики

Российские власти рассматривают цифровую трансформацию энергетического сектора как серьезный технологический вызов, осознавая высокую зависимость России от импорта высокотехнологичного оборудования [Mitrova, Melnikov, 2019]. Первым шагом в развитии повестки цифровизации российской энергетики на государственном уровне стало создание рабочей группы «Энерджинет» и утверждение дорожной карты «Энерджинет» Национальной технологической инициативы (НТИ) в 2016 г. Цель «Энерджинет» НТИ заключается в достижении российскими компаниями лидерства на мировых рынках энергетики будущего, в частности в таких сегментах, как распре-

делительные сети, интеллектуальная распределенная энергетика, потребительские сервисы. Распоряжением Правительства от 28 июля 2017 г. № 1632-р [Правительство Российской Федерации, 2017] была утверждена программа «Цифровая экономика в Российской Федерации» (распоряжение отменено в 2019 г., после выхода Указа Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. № 204), в которой затрагивались вопросы цифровизации энергетике. С учетом приоритетов этой программы был сформирован ведомственный проект «Цифровая энергетика», который сосредоточен в основном на обеспечении безопасности энергетической инфраструктуры, а также на цифровизации электроэнергетики, нефтегазового комплекса и угольной промышленности. Указом Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» перед правительством поставлена задача внедрения цифровых технологий и платформенных решений, а также интеллектуальных систем управления в энергетической отрасли [Президент Российской Федерации, 2018].

В 2020 г. была утверждена Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 г. [Министерство энергетики Российской Федерации, 2020]. В ней также затрагиваются аспекты цифровизации энергетической отрасли. В частности, предусмотрено совершенствование механизмов государственной поддержки внедрения «сквозных» цифровых технологий, включая платформенные решения, формирование системы управления, координации и мониторинга цифровой трансформации топливно-энергетического комплекса, обеспечение цифровизации государственного управления и контрольно-надзорной деятельности в сфере энергетики.

Следует отметить, что Россия отстает от многих стран в сфере цифровизации экономики в целом. По Индексу сетевой готовности (Network Readiness Index, NRI) в 2020 г. Россия заняла 48-е место из 134 по готовности к цифровой экономике и 49-е место — по технологической готовности. Данный индекс характеризует уровень развития информационно-коммуникационных технологий в разных странах. Он был разработан Всемирным экономическим форумом и международной бизнес-школой INSEAD в 2002 г., с 2019 г. он публикуется Институтом Портуланс (Portulans Institute) и Всемирным альянсом информационных технологий и услуг (World Information Technology and Services Alliance). В пятерку лидеров индекса в 2020 г. вошли Швеция, Дания, Сингапур, Нидерланды и Швейцария [Dutta, Lanvin, 2020].

В электроэнергетике внедрение цифровых технологий происходит быстрее, чем в других секторах энергетики — отоплении/охлаждении и энергии для транспорта. На сегодняшний день на многих объектах уже применяются автоматика, системы телеуправления и телемеханизации, используется двусторонний обмен информацией.

Компания «Россети» — один из крупнейших электросетевых операторов — разработала концепцию «Цифровая трансформация 2030» [Россети, 2018]. В результате цифровой трансформации за 2017–2020 гг. введены в работу 84 цифровые подстанции, работающие без постоянного присутствия персонала, 38 цифровых районов электрических сетей и 22 цифровых центра управления сетями, а также установлено более 2 млн умных счетчиков. Цифровизация региональных сетевых организаций на текущий момент в основном ограничивается лишь установкой интеллектуальных приборов учета.

Цифровая трансформация энергосбытовых компаний направлена на модернизацию текущих биллинговых систем, систем взаимодействия с потребителями, внедрение личных кабинетов и порталов самообслуживания. Установка интеллектуальных приборов учета станет первым этапом применения технологий интернета вещей. Технологии искусственного интеллекта пока не используются в энергосбытовой деятельности,

но могли бы найти широкое применение в отслеживании динамики производства и потребления, анализе данных и текущих тенденциях. Использование блокчейн-технологий – еще один тренд, который в настоящее время реализуется только в пилотных проектах, но позволил бы повысить эффективность и прозрачность системы торговли и расчетов за электроэнергию.

Внедрение цифровых технологий и поиск новых технологических решений в нефтегазовой отрасли обусловлены необходимостью сокращения расходов и повышения эффективности в условиях растущей конкуренции. В 2008 г. Салымская группа месторождений была оснащена системой удаленного мониторинга. На начало 2019 г. цифровые решения применялись уже более чем на 40 российских месторождениях [Козлова, Пигрев, 2020].

Цифровая трансформация сегодня является частью стратегии всех крупных российских нефтегазовых компаний. И хотя цифровые решения распространяются в данной отрасли медленно, немало пилотных проектов уже реализуются и есть успешные кейсы.

В сентябре 2019 г. компания «Газпром нефть» утвердила Стратегию цифровой трансформации компании. Благодаря новым технологиям, к 2030 г. «Газпром нефть» планирует вдвое сократить сроки получения первой нефти с месторождений, на 40% повысить скорость реализации крупных проектов добычи нефти и природного газа, а также на 10% сократить расходы на управление производством [Газпромнефть, 2019].

По итогам 2019 г. в рамках стратегии «Роснефть – 2022» компания «Роснефть» разработала 24 концепции, 18 прототипов и провела 28 апробаций цифровых решений. Некоторые из них уже запущены в промышленную эксплуатацию. Внедрены технологии цифровых месторождений, цифровых двойников, технологии искусственного интеллекта для прогноза отказа оборудования, управления поставками и запасами МТЦ, разработан прототип программного комплекса для обработки и интерпретаций геофизических исследований скважин, система дрон-мониторинга, цифровой работник [Роснефть, 2021].

Стратегия цифровизации компании «Татнефть» является частью Стратегии развития группы «Татнефть» до 2030 г. [Татнефть, 2018]. «Татнефть», как и другие нефтегазовые компании, сосредоточена на внедрении технологий больших данных, интернета вещей, цифровых двойников. Элементы технологии «цифровое месторождение» успешно апробированы на Ромашкинском месторождении, в результате чего удалось сократить себестоимость добычи до 30%. Также компании удалось добыть 200 тыс. тонн нефти дополнительно и повысить дебет ранее малопродуктивных скважин до 10 раз. На конец 2021 г. компания планирует в полном объеме охватить нефтяные объекты моделями, на основе которых будут приниматься дальнейшие решения.

Программа «Цифровой ЛУКОЙЛ 4.0» предусматривает работу компании по четырем основным направлениям: цифровые двойники, цифровой персонал, роботизация и цифровая экосистема. Также внедряется концепция «интеллектуальных месторождений» [Клубков, Мосоян, 2020]. К концу 2019 г. построено 45 интегрированных моделей месторождений, дополнительная добыча углеводородов составила более 7 млн баррелей нефтяного эквивалента. Цифровые технологии реализуются также и в области нефтепереработки. Например, на Пермском нефтеперерабатывающем заводе (НПЗ) была внедрена система предиктивной аналитики состояния динамического оборудования. На НПЗ в Бургасе (Болгария) работает система мониторинга и прогноза состояния оборудования. На Волгоградском НПЗ функционирует система видеоналитики, интегрированная в автоматизированную систему управления технологическим процессом.

Таким образом, в нефтяной отрасли происходит постепенное внедрение цифровых технологий. У большинства стейкхолдеров разработаны цифровые стратегии и происходит постепенное внедрение технологий – цифровые месторождения, облачные технологии, большие данные, искусственный интеллект и дистанционный мониторинг. Но весь этот процесс имеет весьма опосредованное отношение к энергетическому переходу и, скорее, похож на обыкновенную промышленную автоматизацию, направленную на снижение затрат и повышение эффективности бизнес-процессов. Понятие цифровой энергетики, и в том числе энергоперехода, предполагает создание новой бизнес-модели, новой структуры взаимодействия основных субъектов и новых сервисов. Применение цифровых технологий в нефтегазовой отрасли России фундаментально не меняет промышленные процессы, а лишь автоматизирует их. Так как применение технологий в отрасли только начинается, информация о полученном, даже предварительно, эффекте отсутствует. У компаний есть лишь приблизительные величины планируемого эффекта по итогам завершения всех этапов стратегии.

Отметим, что цифровизация сектора ВИЭ не входит в перечень государственных задач цифровизации энергетической отрасли в России. Тем не менее внедрение цифровых технологий происходит и в этой области. Наиболее распространенной практикой сегодня стало внедрение дистанционного управления. Первый подобный проект был реализован в сентябре 2019 г. Системным оператором и компанией «Хевел». Применение цифровых решений на Бурибаевской СЭС (установленная мощность 20 МВт) позволило обеспечить дистанционное управление активной и реактивной мощностью, а также обслуживание солнечной электростанции без постоянного дежурства персонала. После успеха проекта дистанционного управления на Бурибаевской СЭС подобные системы стали внедряться и на других объектах солнечной генерации (например, на Майминской СЭС, Старомарьевской СЭС и др.). Еще одним цифровым решением стало применение компанией «Хевел» беспилотных летательных аппаратов для инспекции СЭС. Кочубеевская и Адыгейская ВЭС, а также три СЭС в Волгоградской области уже подключены к сети Интернет и цифровым услугам. Ушаковская ВЭС в Калининградской области интегрирована в первый в России цифровой район электрической сети. Также большинство СЭС и ВЭС в России оборудованы системами АСУ ТП и АИИС КУЭ, что может стать основой для более глубоких цифровых трансформаций в дальнейшем. Технологии искусственного интеллекта и блокчейна в секторе ВИЭ в России пока не применяются, за исключением единичных случаев, таких как блокчейн-платформа Сбера для торговли зелеными сертификатами.

Цифровизация сектора ВИЭ идет медленно. Внедрение цифровых технологий в этой сфере носит больше пилотный, чем массовый характер и, как и в случае с традиционной генерацией, напоминает процесс автоматизации. Цифровые решения в основном помогают оптимизировать работу и обеспечить диспетчеризацию объектов. Сегодняшний процесс цифровизации зеленой энергетики не стимулирует развитие ВИЭ в России. И даже внедрение цифровых технологий на более глубоком уровне не приведет к приросту мощностей ВИЭ. Перестроение всей энергосистемы и создание новой инфраструктуры, в том числе цифровой, может стать инструментом развития ВИЭ. Но главным условием является применение механизмов государственной поддержки. В настоящий момент на уровне государственных стратегических документов цифровое развитие сектора ВИЭ не входит в число приоритетных задач. Таким образом, заинтересованность всех игроков российского энергетического сектора, а также обновление всей энергосистемы с технологической и организационной точек зрения может стать драйвером развития зеленой генерации и, как следствие, микрогенерации, распределенной генерации и рынка хранения энергии в России.

В целом в России процесс цифровизации энергетики находится на начальном этапе. На текущий момент создана законодательная база для внедрения цифровых технологий и реализуется ряд пилотных проектов. Однако применение технологий не связано со структурными изменениями в отрасли, которые подразумевает энергопереход. Цифровизация энергетики в России больше напоминает процесс автоматизации. Реализуемый сегодня этап может стать основой для дальнейшей цифровизации отрасли. Но для этого прежде всего необходима заинтересованность всех участников энергетической системы России.

Заключение

Цифровые технологии в традиционной энергетике внедряются уже около полувека, однако их роль, например, в развитии угольной и нефтегазовой отраслей, достаточно скромна и обычно сводится к автоматизации операций и повышению эффективности. Это в значительной степени связано с преобладанием в этих отраслях инженерного мышления, а также с общей инерционностью развития традиционной энергетики. В чистой энергетике, наоборот, есть гораздо больше возможностей для инноваций, новых бизнес-моделей и принятия быстрых решений, что открывает широкие горизонты для внедрения цифровых технологий. Цифровые технологии, в свою очередь, создают возможности для преодоления многих проблем перехода к чистой энергетике, в частности таких, как сложность интеграции больших объемов переменной выработки в сеть и управление распределенными сетями.

Внедрение возобновляемых источников энергии и энергетический переход способствуют электрификации и приводят к существенному усложнению электроэнергетических систем, в которых появляются новые участники, включая просьюмеров, большое число различных электрических приборов, устройств, источников генерации электроэнергии, а также новые бизнес-модели. Управлять такими системами в ручном режиме становится все сложнее, и в определенный момент это может стать препятствием для энергетического перехода.

В процессе исследования были выявлены следующие группы ключевых цифровых технологий, которые помогут преодолеть барьеры развития чистой энергетики в ближайшие годы: (1) интернет вещей, (2) искусственный интеллект и большие данные, (3) блокчейн. Также была отмечена возможность и важность организации взаимодействия и интеграции всех этих групп технологий в рамках цифровых платформ и интернета энергии.

Интернет вещей способен интегрировать электрические приборы, а также электростанции, что позволит управлять ими в автоматическом режиме. С помощью интернета вещей можно существенно улучшить возможности сетей предоставлять услуги по балансировке, агрегированию и управлению нагрузками, а также автоматизировать работу подстанций. Искусственный интеллект в сфере ВИЭ пока используется в основном для прогнозирования выработки солнечных и ветровых электростанций. Однако в дальнейшем его алгоритмы могут быть включены в процессы принятия решений. Например, алгоритмы искусственного интеллекта могут принимать решения о включении/выключении тех или иных объектов. Технологии искусственного интеллекта также могут выявлять возможные ошибки в процессах, что повысит безопасность энергосистем. Блокчейн, в частности через краткосрочные и долгосрочные умные контракты, позволит различным участникам энергосистемы совершать операции без посредников, что облегчит переход от централизованного распределения энергии к децентрализованному.

Россия существенно отстает от других стран по цифровизации экономики в целом и энергетики в частности, хотя с 2016 г. цифровизация топливно-энергетического комплекса является одним из государственных приоритетов. Цифровая трансформация уже стала частью стратегий всех крупных российских нефтегазовых корпораций, а также многих других компаний энергетического сектора (например, сетевых организаций), однако пока в основном сводится к обычной промышленной автоматизации в целях снижения затрат и повышения эффективности бизнес-процессов. Многие перспективные цифровые технологии (например, блокчейн) еще практически не получили развития в российском энергетическом секторе. В целом цифровизация энергетики пока не способствует энергетическому переходу в России, во многом вследствие ограниченных амбиций России в области развития возобновляемой энергетики и сопряженных отраслей, таких как накопители энергии, электротранспорт и другие.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Газпромнефть (2019). Цифровая трансформация. Режим доступа: <https://ar2019.gazprom-neft.ru/strategic-report/digital-transformation> (дата обращения: 18.05.2021).
- Клубков С., Мосоян М. (2020). Программа «Цифровой ЛУКОЙЛ 4.0» // Vygon Consulting. Режим доступа: https://vygon.consulting/upload/iblock/266/vygon_consulting_smart_upstream.pdf (дата обращения: 14.05.2021).
- Козлова Д.В., Пигарев Д.Ю. (2020). Цифровая трансформация нефтегазовой отрасли: барьеры и пути их преодоления // Газовая промышленность. № 7 (803). С. 34–38.
- Министерство энергетики Российской Федерации (2020). Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года. Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/1026> (дата обращения: 13.05.2021).
- Правительство Российской Федерации (2017). Об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации». 31 июля. Режим доступа: <http://government.ru/docs/28653/> (дата обращения: 22.05.2021).
- Президент Российской Федерации (2018). Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». Режим доступа: <http://kremlin.ru/acts/bank/43027> (дата обращения: 22.05.2021).
- Роснефть (2021). Новая стратегия «Роснефть – 2022». Режим доступа: <https://www.rosneft.ru/docs/report/2017/ru/strategy.html> (дата обращения: 23.05.2021).
- Россети (2018). Концепция «Цифровая трансформация 2030». Режим доступа: https://www.rosseti.ru/investment/Kontsepsiya_Tsifrovaya_transformatsiya_2030.pdf (дата обращения: 22.05.2021).
- Татнефть (2018). Стратегия развития Группы «Татнефть» до 2030 года. 26 сентября. Режим доступа: https://www.tatneft.ru/storage/block_editor/files/02427faf51999c3fc3fb83572b07c3e242f7ec3e.pdf (дата обращения: 23.05.2021).
- Ahl A., Yarime M., Goto M., Chopra S.S., Kumar N.M., Tanaka K., Sagawa D. (2020). Exploring blockchain for the energy transition: Opportunities and challenges based on a case study in Japan // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 117. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109488>
- Ahmad T., Zhang D., Huang C., Zhang H., Dai N., Song Y., Chen H. (2021). Artificial intelligence in sustainable energy industry: Status Quo, challenges and opportunities // *Journal of Cleaner Production*. Vol. 289. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125834>
- Booth A., Patel N., Smith M. (2020). Digital Transformation in Energy: Achieving Escape Velocity. McKinsey&Company. 3 September. Режим доступа: <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/digital-transformation-in-energy-achieving-escape-velocity> (дата обращения: 11.05.2021).

- Boza P., Evgeniou T. (2021). Artificial intelligence to support the integration of variable renewable energy sources to the power system // *Applied Energy*. Vol. 290. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116754>
- Buterin V. (2014). Ethereum White Paper – a next generation smart contract & decentralized application platform *Ethereum.org*. Режим доступа: https://cryptorating.eu/whitepapers/Ethereum/Ethereum_white_paper.pdf (дата обращения: 01.05.2021).
- Cao Y. (2019). Energy Internet blockchain technology // *The energy internet – an open energy platform to transform legacy power systems into open innovation and global economic engines* / W. Su, A.Q. Huang (eds). Duxford United Kingdom: Woodhead Publishing. P. 45–64.
- Dutta S., Lanvin B. (eds) (2020). *The Network Readiness Index 2020* // Portulans Institute. Режим доступа: https://networkreadinessindex.org/wp-content/uploads/2020/11/NRI-2020-V8_28-11-2020.pdf (дата обращения: 14.05.2021).
- Global Carbon Project (2020). *Global Carbon Budget 2020*. Режим доступа: <https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/archive.htm> (дата обращения: 01.05.2021).
- IEA (2017). *Digitalisation and Energy*. Режим доступа: <https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy> (дата обращения: 08.05.2021).
- IRENA (2017). *Building innovation networks to transform the energy landscape*. Режим доступа: <https://irena.org/newsroom/articles/2017/Dec/Building-innovation-networks-to-transform-the-energy-landscape> (дата обращения: 06.05.2021).
- IRENA (2018). *A Digitalised, Decentralised Future is Around the Corner*. Режим доступа: <https://www.irena.org/newsroom/articles/2018/Sep/A-Digitalised-Decentralised-Future-is-Around-the-Corner> (дата обращения: 06.05.2021).
- IRENA (2019a). *A New World. The Geopolitics of the Energy Transformation*. Режим доступа: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jan/Global_commission_geopolitics_new_world_2019.pdf (дата обращения: 01.04.2021).
- IRENA (2019b). *Enabling Technologies: Innovation Landscape*. Режим доступа: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Enabling-Technologies_Collection_2019.pdf (дата обращения: 07.04.2021).
- IRENA (2019c). *Innovation Landscape for a Renewable-Powered Future: Solutions to Integrate Variable Renewables*. Режим доступа: file:///Users/tatiana/Downloads/IRENA_Innovation_Landscape_2019_report.pdf (дата обращения: 07.04.2021).
- Jha S.K., Bilalovic J., Jha A., Patel N., Zhang H. (2017). Renewable energy: present research and future scope of Artificial Intelligence // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 77. P. 297–317. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.018>
- Kivimaa P., Sivonen M.H. (2021). Interplay between low-carbon energy transitions and national security: An analysis of policy integration and coherence in Estonia, Finland and Scotland // *Energy Research & Social Science*. Vol. 75. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102024>
- Kloppenborg S., Boekelo M. (2019). Digital platforms and the future of energy provisioning: Promises and perils for the next phase of the energy transition // *Energy Research & Social Science*. Vol. 49. P. 68–73. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.10.016>
- Loock M. (2020). Unlocking the value of digitalization for the European energy transition: A typology of innovative business models // *Energy Research & Social Science*. Vol. 69. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101740>
- Martinez-Anido C.B., Botor B., Florita A.R., Draxl C., Lu S., Hamann H.F., Hodge V.M. (2016). The value of day-ahead solar power forecasting improvement // *Solar Energy*. Vol. 129. P. 192–203. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.01.049>
- Mitrova T., Melnikov Y. (2019). Energy transition in Russia // *Energy Transitions*. Vol. 3. P. 73–80. <https://doi.org/10.1007/s41825-019-00016-8>
- REN21 (2010). *Renewables 2010 Global Status Report*. Режим доступа: https://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/REN21_GSR_2010_full_revised%20Sept2010.pdf (дата обращения: 11.05.2021).

- REN21 (2020). Renewables 2020 Global Status Report. Режим доступа: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2020_full_report_en.pdf (дата обращения: 11.05.2021).
- Rifkin J. (2013). *The Third Industrial Revolution: How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World*. Palgrave MacMillan.
- Smart A. (2017). *The Digital Oil Company: Getting Ahead of the Energy Transition*. Accenture. Режим доступа: https://www.accenture.com/us-en/_acnmedia/pdf-58/accenture-the-digital-oil-company-getting-ahead-of-the-energy-transition.pdf (дата обращения: 13.05.2021).
- Smil V. (2010). *Energy Transitions: History, Requirements, Prospects*. Praeger.
- Smil V. (2018). *Energy and civilization: a history*. MIT Press.
- Sovacool B.K., Hess D.J., Cantoni R. (2021). Energy transitions from the cradle to the grave: A meta-theoretical framework integrating responsible innovation, social practices, and energy justice // *Energy Research & Social Science*. Vol. 75. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102027>
- Verma P., Savickas R., Buettner S.M., Strücker J., Kjeldsen O., Wang X. Digitalization: enabling the new phase of energy efficiency // Group of Experts on Energy Efficiency. Seventh session. Режим доступа: https://un-ecce.org/sites/default/files/2020-12/GEEE-7.2020.INF_3.pdf (дата обращения: 11.05.2021).
- Wang Q., Su M. (2020). Integrating blockchain technology into the energy sector – from theory of blockchain to research and application of energy blockchain // *Computer Science Review*. Vol. 37. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2020.100275>
- Wu J., Tran N. (2018). Application of blockchain technology in sustainable energy systems: An overview // *Sustainability*. Vol. 10 (9). <https://doi.org/10.3390/su10093067>
- Wu Y., Wu Y., Guerrero J.M., Vasquez J.C. (2021). Digitalization and decentralization driving transactive energy Internet: Key technologies and infrastructures // *Electrical Power and Energy Systems*. Vol. 126. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.106593>
- Zhang J. (2021). Distributed network security framework of energy internet based on internet of things // *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. Vol. 44. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101051>
- Zhou K., Fu C., Yang S. (2016). Big data driven smart energy management: From big data to big insights // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 56. P. 215–225. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.050>

The Role of Digitalization in the Global Energy Transition^{1,2}

V. Barinova, A. Devyatova, D. Lomov

Vera Barinova – PhD, Director of the International Laboratory for Sustainable Development Studies of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (RANEPA); Manager of the Sustainable Development Solutions Network (SDSN) in Russia; 82 Prospekt Vernadskogo, bldg. 1, Moscow, 119571, Russian Federation; barinova@ranepa.ru

Anna Devyatova – 1st Category Specialist of the United Transport Energy Systems LLC; 5 office, 9 Georgiya Mitiryova driveway, Samara, 443079, Russian Federation; annadevyatova@bk.ru

Denis Lomov – a third-year student in Political Science, Institute for Social Sciences, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (RANEPA); 82 Prospekt Vernadskogo, bldg. 1, Moscow, 119571, Russian Federation; denlomov99@gmail.com

Abstract

In the context of the COVID-19 pandemic, digitalization has become a popular topic in both practical and theoretical terms. In many areas, for example, education and communications, information and communication technologies began to play a leading role, especially during the period of limited mobility. However, in some other areas that also came under close scrutiny during the pandemic, such as the field of energy transition, digitalization has not yet fully unlocked its potential. Moreover, the digitalization of energy transition has not been researched enough.

The purpose of this article is to fill this gap. The authors investigate the current stage of digitalization of the energy sector and the role of information and communication technologies in the traditional energy complex and in clean energy and identify and analyze the key groups of technologies that will have a decisive impact on the energy transition in the near future. The authors also examine the process of digitalization in the Russian energy sector in order to determine whether it is giving an impetus to the energy transition of Russia.

Keywords: energy transition, renewable energy sources (RES), digitalization, energy internet, energy of things (IoT), big data, blockchain

For citation: Barinova V., Devyatova A., Lomov D. (2021). The Role of Digitalization in the Global Energy Transition. *International Organisations Research Journal*, vol. 16, no 4, pp. 126–145 (in English). doi:10.17323/1996-7845-2021-04-06

References

Ahl A., Yarime M., Goto M., Chopra S.S., Kumar N.M., Tanaka K., Sagawa D. (2020). Exploring Blockchain for the Energy Transition: Opportunities and Challenges Based on a Case Study in Japan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 117. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109488>

Ahmad T., Zhang D., Huang C., Zhang H., Dai N., Song Y., Chen H. (2021) Artificial Intelligence in Sustainable Energy Industry: Status Quo, Challenges and Opportunities. *Journal of Cleaner Production*, vol. 289. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125834>

Booth A., Patel N., Smith M. (2020). Digital Transformation in Energy: Achieving Escape Velocity. McKinsey & Company. Available at: <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/digital-transformation-in-energy-achieving-escape-velocity> (accessed 11 May 2021).

¹ The article was submitted 07.08.2021.

² The article was written on the basis of the RANEPA state assignment research programme.

- Boza P., Evgeniou T. (2021). Artificial Intelligence to Support the Integration of Variable Renewable Energy Sources to the Power System. *Applied Energy*, vol. 290. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116754>
- Buterin V. (2014). Next Generation Smart Contract & Decentralized Application Platform. Ethereum White Paper. Available at: https://cryptorating.eu/whitepapers/Ethereum/Ethereum_white_paper.pdf (accessed 1 May 2021).
- Cao Y. (2019). Energy Internet Blockchain Technology. *The Energy Internet: An Open Energy Platform to Transform Legacy Power Systems Into Open Innovation and Global Economic Engines* (W. Su, A.Q. Huang (eds)). Duxford United Kingdom: Woodhead Publishing, pp. 45–64.
- Dutta S., Lanvin B. (eds) (2020). The Network Readiness Index 2020. Portulans Institute. Available at: https://networkreadinessindex.org/wp-content/uploads/2020/11/NRI-2020-V8_28-11-2020.pdf (accessed 14 May 2021).
- Gazpromneft‘ (2019). Cifrovaja transformacija [Digital Transformation]. Strategic Report. Available at: <http://ar2019.gazprom-neft.ru/strategic-report/digital-transformation> (accessed 18 May 2021). (In Russian)
- Global Carbon Project (2020). Global Carbon Budget 2020. Available at: <https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/archive.htm> (accessed 1 May 2021).
- Government of the Russian Federation (RF) (2017). Ob utverzhenii programmy “Cifrovaja jekonomika Rossijskoj Federacii” [On the Approval of the Programme “Digital Economy of the Russian Federation”]. 31 July. Available at: <http://government.ru/docs/28653/> (accessed 22 May 2021). (In Russian)
- International Energy Agency (IEA) (2017). Digitalisation and Energy. Technology Report. Available at: <https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy> (accessed 8 May 2021).
- International Renewable Energy Agency (IRENA) (2017). Building Innovation Networks to Transform the Energy Landscape. 6 December. Available at: <https://irena.org/newsroom/articles/2017/Dec/Building-innovation-networks-to-transform-the-energy-landscape> (accessed 6 May 2021).
- International Renewable Energy Agency (IRENA) (2018). A Digitalised, Decentralised Future Is Around the Corner. 23 September. Available at: <https://www.irena.org/newsroom/articles/2018/Sep/A-Digitalised-Decentralised-Future-is-Around-the-Corner> (accessed 6 May 2021).
- International Renewable Energy Agency (IRENA) (2019a). A New World: The Geopolitics of the Energy Transformation. Available at: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jan/Global_commission_geopolitics_new_world_2019.pdf (accessed 1 April 2021).
- International Renewable Energy Agency (IRENA) (2019b). Utility-Scale Batteries. Innovation Landscape Brief. Available at: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Enabling-Technologies_Collection_2019.pdf (accessed 7 April 2021).
- International Renewable Energy Agency (IRENA) (2019c). Innovation Landscape for a Renewable-Powered Future: Solutions to Integrate Variable Renewables. Available at: <https://www.irena.org/publications/2019/Feb/Innovation-landscape-for-a-renewable-powered-future> (accessed 10 November 2021).
- Jha S.K., Bilalovic J., Jha A., Patel N., Zhang H. (2017). Renewable Energy: Present Research and Future Scope of Artificial Intelligence. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 77, pp. 297–317. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.018>
- Kivimaa P., Sivonen M.H. (2021). Interplay Between Low-Carbon Energy Transitions and National Security: An Analysis of Policy Integration and Coherence in Estonia, Finland and Scotland. *Energy Research & Social Science*, vol. 75. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102024>
- Kloppenburger S., Boekelo M. (2019). Digital Platforms and the Future of Energy Provisioning: Promises and Perils for the Next Phase of the Energy Transition. *Energy Research & Social Science*, vol. 49, pp. 68–73. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.10.016>
- Clubkov S., Mosojan M. (2020). Programma “Cifrovoy LUKOIL 4.0” [Digital LUKOIL 4.0 Programme]. Vygon Consulting. Available at: https://vygon.consulting/upload/iblock/266/vygon_consulting_smart_upstream.pdf (accessed 14 May 2021). (In Russian)
- Kozlova D., Pigarev D. (2020). Cifrovaya transformaciya neftegazovoj otrasli: bar’ery i puti ih preodoleniya [Digital Transformation of the Oil and Gas Industry: Barriers and Ways to Overcome Them]. *Gazovaya promyshlennost’*, no 7(803), pp. 34–8. (In Russian)

- Loock M. (2020). Unlocking the Value of Digitalization for the European Energy Transition: A Typology of Innovative Business Models. *Energy Research & Social Science*, vol. 69. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101740>
- Martinez-Anido C.B., Botor B., Florita A.R., Draxl C., Lu S., Hamann H.F., Hodge B.M. (2016). The Value of Day-Ahead Solar Power Forecasting Improvement. *Solar Energy*, vol. 129, pp. 192–203. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.01.049>
- Ministry of Energy of the Russian Federation (RF) (2020). Jenergeticheskaja strategija Rossijskoj Federacii na period do 2035 goda [Energy Strategy of the Russian Federation Until 2035]. Available at: <https://minenergo.gov.ru/node/1026> (accessed 13 May 2021). (In Russian)
- Mitrova T., Melnikov Y. (2019). Energy Transition in Russia. *Energy Transitions*, vol. 3, pp. 73–80. <https://doi.org/10.1007/s41825-019-00016-8>
- President of the Russian Federation (RF) (2018). Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 7 May 2018 g. № 204 O nacional'nyh celjah i strategicheskikh zadachah razvitija Rossijskoj Federacii na period do 2024 goda [Decree of the President of the Russian Federation of 7 May 2018, No 204 “On National Goals and Strategic Objectives of the Development of the Russian Federation for the Period up to 2024”]. Available at: <http://kremlin.ru/acts/bank/43027> (accessed 22 May 2021). (In Russian)
- Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21) (2010). Renewables 2010 Global Status Report. Available at: https://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/REN21_GSR_2010_full_revised%20Sept2010.pdf (accessed 11 May 2021).
- Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21) (2020). Renewables 2020 Global Status Report. Available at: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2020_full_report_en.pdf (accessed 11 May 2021).
- Rifkin J. (2013). *The Third Industrial Revolution: How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World*. Palgrave MacMillan.
- Rosneft' (2021). Novaja strategija “Rosneft'-2022” [Rosneft-2022 New Strategy]. Available at: <https://www.rosneft.ru/docs/report/2017/ru/strategy.html> (accessed 23 May 2021). (In Russian)
- Rosseti (2018) Koncepcija “Cifrovaja transformacija 2030” [Concept “Digital Transformation 2030”]. Available at: https://www.rosseti.ru/investment/Kontseptsiya_Tsifrovaya_transformatsiya_2030.pdf (accessed 22 May 2021). (In Russian)
- Smart A. (2017). The Digital Oil Company: Getting Ahead of the Energy Transition. Accenture. Available at: https://www.accenture.com/us-en/_acnmedia/pdf-58/accenture-the-digital-oil-company-getting-ahead-of-the-energy-transition.pdf (accessed 13 May 2021).
- Smil V. (2010). *Energy Transitions: History, Requirements, Prospects*. Praeger.
- Smil V. (2018). *Energy and Civilization: A History*. MIT Press.
- Sovacool B.K., Hess D.J., Cantoni R. (2021). Energy Transitions From the Cradle to the Grave: A Meta-Theoretical Framework Integrating Responsible Innovation, Social Practices, and Energy Justice. *Energy Research & Social Science*, vol. 75. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102027>
- Tatneft' (2018). Strategija razvitija Gruppy “Tatneft” do 2030 goda [Development Strategy of TATNEFT Group Until 2030]. Available at: https://www.tatneft.ru/storage/block_editor/files/02427faf51999c3fc3fb83572b07c3e242f7ec3e.pdf (accessed 23 May 2021). (In Russian)
- Verma P., Savickas R., Buettner S. M., Strücker J., Kjeldsen O., Wang X. (2020). Digitalization: Enabling the New Phase of Energy Efficiency. Group of Experts on Energy Efficiency. GEEE-7/2020/INF.3. Available at: https://unece.org/sites/default/files/2020-12/GEEE-7.2020.INF_.3.pdf (accessed 11 May 2021).
- Wang Q., Su M. (2020). Integrating Blockchain Technology Into the Energy Sector: From Theory of Blockchain to Research and Application of Energy Blockchain. *Computer Science Review*, vol. 37. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2020.100275>
- Wu J., Tran N.K. (2018). Application of Blockchain Technology in Sustainable Energy Systems: An Overview. *Sustainability*, vol. 10, iss. 9. <https://doi.org/10.3390/su10093067>

Wu Y., Wu Y., Guerrero J.M., Vasquez J.C. (2021). Digitalization and Decentralization Driving Transactive Energy Internet: Key Technologies and Infrastructures. *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 126. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.106593>

Zhang J. (2021). Distributed Network Security Framework of Energy Internet Based on Internet of Things. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 44. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101051>

Zhou K., Fu C., Yang S. (2016). Big Data Driven Smart Energy Management: From Big Data to Big Insights. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 56, pp. 215–25. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.050>