

А.В. Заединов

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

**Перспективы и вызовы цифровой трансформации российской энергетики:
от оптимизации до Интернета энергии**

Аннотация. Энергетическая отрасль является одним из ключевых структурных компонентов экономики любого государства, во многом определяя его конкурентоспособность. Значительное воздействие на ее развитие, наряду с решениями Парижского соглашения по климату, направленными на радикальное сокращение негативного антропогенного воздействия на окружающую среду, оказывает и энергетический кризис, вызванный геополитическими событиями 2022 года и обозначивший проблему зависимости экономик многих стран от поставщиков ископаемых энергоресурсов. Вместе с пересмотром энергетического баланса, для многих стран остро встал вопрос обеспечения энергетической безопасности за счет интенсификации технологического развития национальной энергетической отрасли. К числу ключевых направлений, определяющих устойчивое развитие энергетики и позволяющих решать многие накопившиеся проблемы, относятся декарбонизация, децентрализация и цифровизация. Этим определяется актуальность исследований, посвященных перспективам развития энергетического сектора в контексте новых вызовов, включая выявление особенностей, препятствий и перспектив цифровой трансформации российской энергетики. В данной работе представлен обзор приоритетных технологий и бизнес-моделей, присущих цифровой энергетике будущего. С позиции готовности к цифровой трансформации и государства, и бизнеса проведен анализ российского энергетического сектора. Определены ключевые проблемы, вызовы и риски цифровизации энергетики в нашей стране. Даны рекомендации для регулятора и энергетических компаний по преодолению препятствий, стоящих на пути построения инфраструктуры распределенной энергетики будущего в России.

Ключевые слова: цифровая трансформация, Интернет энергии, декарбонизация российской энергетики, энергетический переход, устойчивое развитие России.

A.V. Zaedinov

Saint Petersburg State University (Saint Petersburg, Russia)

**Prospects and challenges of the Russian energy sector digital transformation:
from optimization to the Internet of Energy**

Abstract. The energy industry is one of the key structural components of the economy of any state, largely determining its competitiveness. Along with the decisions of the Paris Climate Agreement aimed at radically reducing the negative anthropogenic impact on the environment, the energy crisis caused by the geopolitical events of 2022 has a significant impact on its development, which has highlighted the problem of dependence of the economies of many countries on suppliers of fossil energy resources. Along with the revision of the energy balance, the issue of ensuring energy security through the intensification of technological development in the national energy sector has become acute for many countries. Decarbonization, decentralization and digitalization are among the key areas that determine the sustainable development of energy and allow solving many accumulated problems. This determines the relevance of research on the prospects for the development of the energy sector in the context of new challenges, including the identification of features, obstacles, and prospects for the digital transformation of the Russian energy sector. This paper provides an overview of the priority technologies and business models inherent in the digital energy of the future. The analysis of the Russian energy sector is carried out from the position of readiness for digital transformation of both the state and business. The key problems, challenges and risks of

digitalization of energy in our country are identified. Recommendations are given for the regulator and energy companies to overcome the obstacles that stand in the way of building a distributed energy infrastructure of the future in Russia.

Keywords: digital transformation, Internet of energy, Russian energy industry decarbonization, energy transition, sustainable development of Russia.

Введение. В настоящее время общество находится на этапе перехода к полностью автоматизированному производству, управляемому искусственным интеллектом (ИИ) и функционирующему на базе передовых цифровых технологий – к Индустрии 4.0. Кроме того, под давлением глобальных климатических вызовов происходит интенсивное преобразование энергетической инфраструктуры с переходом к распределенной генерации и увеличением доли нетрадиционных и возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в энергобалансе, получившее название «энерготransition» [Пахомова, Заединов, 2022]. Новые энергетические технологии во многом определяют возможности человечества по противостоянию глобальным климатическим рискам, так как именно энергетика является главным эмитентом, на долю которого приходится около половины общемировых выбросов парниковых газов (ПГ) в атмосферу.

В экспертных и научных кругах сложилась формула «трех д», описывающая ключевые направления текущего энерготransition: декарбонизация, децентрализация и диджитализация [IRENA, 2017]. При этом именно цифровые технологии позволяют интегрировать в существующие энергосистемы новые низкоуглеродные и децентрализованные источники энергии и обеспечить эффективное распределение энергии между потребителями. Цифровая трансформация открывает заметно больше возможностей именно для возобновляемой энергетики, нежели для традиционной [Барина и др., 2021]. Представители традиционного энергетического бизнеса в силу своей инертности и консервативности зачастую не могут создать ощутимой коммерческой ценности за счет внедрения цифровых технологий [Booth, Patel, Smith, 2020]. Поэтому для них цифровая трансформация может означать появление новых рисков, связанных как с постепенной утратой конкурентоспособности ввиду технологического отставания, так и с появлением новых конкурентов, реализующих принципиально новые бизнес-процессы.

В обозначенном контексте критически важным условием сохранения конкурентоспособности, как для бизнеса, так и для государства является адаптация к новым условиям цифровой трансформации. Задача данного исследования – раскрытие слабых мест и барьеров на пути цифровизации российской энергетики, а также предложение рекомендаций по преодолению выявленных проблем. Решение данной задачи имеет значение не только при осуществлении эффективной цифровой трансформации энергетической отрасли в России, но и при выполнении нашей страной взятых на себя национальных экологических обязательств в рамках борьбы с глобальными климатическими вызовами.

Ключевые технологии и бизнес-модели распределенной энергетики. Эксперты и ученые предлагают различные классификации цифровых технологий, определяющих будущее развитие отрасли, которые можно обобщить в три ключевые группы: (1) интернет вещей и робототехника; (2) искусственный интеллект и большие данные; (3) блокчейн [Хитрых, 2021; Bean, Davies, 2020; IRENA, 2019].

Технология интернета вещей позволяет интегрировать в единую сеть все устройства на сторонах спроса и предложения, что дает возможность управления спросом и оптимизации генерации и распределения энергии. Использование роботов позволит кардинально преобразить такие процессы как производство, эксплуатация, диагностика и обслуживание энергетического оборудования, снижая издержки и частоту аварий. Уже сейчас роботизированные системы используются, например, для диагностики трубопроводов, что заметно ускоряет процесс, сокращает объем земельных работ и повышает точность полученных результатов.

Сбор и обработка больших массивов данных о параметрах потребителей позволяет с достаточной точностью прогнозировать спрос на энергию, а технологии ИИ и машинного обучения – эффективно распределять энергетические потоки и моментально реагировать на любые изменения, что является важной задачей при переходе к распределенной энергосистеме. Эти же технологии позволяют анализировать состояние энергетического оборудования в реальном времени и предупреждать аварийные ситуации, тем самым минимизируя простои и связанные с этим потери.

Блокчейн-технологии, во-первых, позволяют минимизировать транзакционные издержки и число посредников, значительно ускорив проведение любых транзакций. Это имеет особое значение для децентрализованной энергетической системы с большим количеством участников. Во-вторых, эти технологии значительно повышают безопасность любых цифровых взаимодействий от передачи данных до проведения операций, что также немаловажно для инфраструктуры цифровой энергетики, постоянно оперирующей большими потоками данных.

Цифровая трансформация открывает возможности и для возникновения принципиально новых бизнес-моделей. В частности, эксперты отмечают следующие перспективные способы организации бизнеса в электроэнергетике: *виртуальная энергокомпания*, действующая как посредник между распределенными источниками энергии и потребителями; *разработчик энергосистемы*, который конструирует, эксплуатирует и обслуживает линии электропередачи; *сетевой менеджер*, управляющий распределительными устройствами и предоставляющий доступ к своим сетям производителям и транспортировщикам энергии, а также поставщикам розничного обслуживания [Хитрых, 2021; Bean, Davies, 2020].

На этом цифровом фундаменте должна строиться инфраструктура распределенной энергетики, минимизирующая потери, повышающая эффективность энергоснабжения, а также интегрирующая энергосистему децентрализованные источники энергии, в том числе ВИЭ. Это может привести к заметному снижению стоимости энергии и эмиссии ПГ. Однако стоит упомянуть также наиболее значимые вызовы и риски, связанные с внедрением перечисленных технологий: обеспечение приватности и безопасности хранения и обмена данными; сложности совместимости различных протоколов передачи информации; дефицит квалифицированных кадров; потребность в существенных первоначальных инвестициях для приобретения оборудования; необходимость адаптации нормативно-правовой базы и механизмов регулирования отношений между участниками новых бизнес-процессов.

Обсуждение. Россия с середины 2010-х годов предпринимает серьезные усилия по цифровой трансформации энергетического сектора. В 2016 г. была утверждена дорожная карта «Энерджинет» в рамках Национальной технологической инициативы, подразумевающая занятие российскими компаниями лидирующих позиций на мировых рынках энергетики будущего, а также формирование в стране инфраструктуры Интернета энергии. Действующая Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 г. (РП РФ № 1523-р от 09.07.2020) затрагивает следующие аспекты цифровизации отрасли: совершенствование механизмов господдержки внедрения «сквозных» цифровых технологий, формирование системы управления, координации и мониторинга цифровой трансформации топливно-энергетического комплекса, обеспечение цифровизации госуправления и контрольно-надзорной деятельности в сфере энергетики. В 2021 г. было утверждено Стратегическое направление в области цифровой трансформации ТЭК (РП РФ № 3924-р от 28.12.2021), в котором планируется внедрение описанных выше технологии, сформулированы приоритеты, цели, задачи, вызовы и проблемы цифровой трансформации ТЭК, а также заявлены пять проектов: (1) «Активный потребитель», (2) Цифровой ассистент «Моя энергетика», (3) «Данные для роста – искусственный интеллект», (4) «Роботизация в нефтегазовом комплексе» и (5) «Цифровая промышленная безопасность».

Несмотря на активизацию усилий властей, Россия все еще далека от лидирующих позиций и занимает 40 место в Рейтинге сетевой готовности (NetworkReadinessIndex), характеризующем уровень развития информационно-коммуникативных технологий [Portulans

Institute, 2022]. Наша страна получила высокие оценки по уровню доступности технологий, качеству человеческого капитала и развитию электронных государственных сервисов. Среди наихудших показателей: государственное регулирование, качество жизни, внедрение технологий будущего, расходы бизнеса на НИОКР и приверженность Целям устойчивого развития.

Достижения цифровизации российского энергетического бизнеса также невелики. Хотя экспертами отмечается, что цифровая трансформация энергетики позволяет увеличить доходы компаний в краткосрочной перспективе на 3–4% [Хитрых, 2021].

Российские нефтегазовые компании – «Газпром нефть», «Роснефть», «Татнефть», «Лукойл» – в последние несколько лет стали активно разрабатывать и принимать стратегии цифровой трансформации. Заявлены амбициозные планы по внедрению таких решений как цифровые двойники, цифровые месторождения, прогноз отказа оборудования с помощью ИИ, система дрон-мониторинга и цифровой персонал [Баринаева и др., 2021; Хитрых, 2021]. Однако, запланированные нововведения представляют собой скорее продолжение автоматизации, оцифровки, традиционных процессов с повышением их эффективности, но не способствуют радикальному преобразованию бизнес-процессов.

В секторе российской электроэнергетики можно отметить концепцию цифровой трансформации компании «Россети», в результате которой за 2017–2020 годы было введено в работу 84 цифровые подстанции, работающие без персонала, 38 цифровых районов электросетей, 22 цифровых центра управления сетями и установлено более 2 млн умных счетчиков [Баринаева и др., 2021; Россети, 2018]. Цифровизация энергосбытовых компаний затрагивает преимущественно взаимодействие с потребителями посредством внедрения личных кабинетов и онлайн-ресурсов самообслуживания.

Цифровизация сектора ВИЭ вовсе не входит в перечень задач цифровизации энергетики в России. Примеры использования цифровых технологий здесь единичны и носят пилотный характер. Так, компания «Хевел» внедряла технологии дистанционного управления и использовала дроны для инспекции солнечных электростанций. Большинство СЭС и ВЭС в стране оборудованы автоматизированными информационно-измерительными системами и системами управления, что может стать основой глубокой цифровой трансформации в будущем [Баринаева и др., 2021].

Цифровая трансформация российской энергетики протекает медленно и представляет собой скорее продолжение автоматизации традиционных процессов, чем радикальные преобразования. Среди причин сложившейся ситуации эксперты отмечают: инертность, консервативность и отсутствие заинтересованности со стороны крупного бизнеса, дефицит квалифицированных кадров, противоречивое регулирование, накладывающее излишние административные барьеры, препятствующие возникновению новых бизнес-моделей и использованию передовых технологий, таких как беспилотные летательные аппараты [Баринаева и др., 2021; Хитрых, 2021]. Серьезным препятствием на пути цифровой трансформации также является существенный износ материально-технической базы: средний возраст российских НПЗ составляет свыше 60 лет [Хитрых, 2021], показатель изношенности электросетей оценивается в 52%, а тепловых сетей – на уровне 60–70% [Рахимов, 2022]. Модернизация основных фондов в энергетическом секторе требует значительных капитальных вложений. В то же время прибыльность энергетиков невысока, а в отдельных случаях, например в тепло-снабжении, наблюдается стабильный убыток [Пахомова, Заединов, 2022]. В свете последних геополитических событий и последовавших за ними санкций, также остро встает вопрос зависимости российской энергетики от зарубежных технологий. В различных направлениях энергосектора доля отечественного программного обеспечения и автоматизированных систем управления колеблется в пределах 1–15 % [Рахимов, 2022]. То есть, критической является необходимость импортозамещения продвинутых цифровых технологий в больших объемах, что также требует немалых ресурсов и поддержки со стороны государства.

Выводы и рекомендации. Построение продвинутой энергетической инфраструктуры требует от компаний инновационной активности, инвестиций, готовности к риску и радикальным изменениям бизнес-процессов, а от государства – финансовой поддержки и модернизации нормативно-правовой базы. К числу главных причин неудач цифровой трансформации российской энергетики относятся противоречивость государственной политики, недостатки нормативно-правового регулирования, инертность и отсутствие стимулов к радикальным преобразованиям у бизнеса. Имеющиеся примеры цифровой трансформации носят преимущественно пилотный характер, несмотря на наличие положительного потенциала и в краткосрочной перспективе. Долгосрочное планирование пока не отражено даже в государственных стратегиях и не является достаточно конкретизированным и последовательным.

Для решения накопившихся проблем необходимо пересмотреть энергетическую политику, сосредоточившись на обеспечении последовательного перехода от простой оцифровки операций к принципиально новым процессам функционирования энергосистемы. Системе госрегулирования и энергетическим компаниям предстоит пройти через серьезную трансформацию в среднесрочной перспективе. Для обеспечения эффективности этого процесса следует разработать единую дорожную карту, определяющую устойчивое низкоуглеродное развитие энергетики страны, учитывающую ее ключевые аспекты, в том числе цифровую трансформацию, интересы всех стейкхолдеров и исключая накопившиеся противоречия. В число обязательных преобразований должны войти: расширение мер государственной поддержки цифровизации энергетических компаний, изменение нормативно-правовой базы для обеспечения возможности функционирования новых бизнес-моделей, повышение инвестиционной привлекательности сектора, построение институтов экологически ответственного поведения компаний и потребителей, включая инструменты прогнозирования и управления спросом, и смягчение регулирования для создания условий, свойственных конкурентным рыночным отношениям.

ЛИТЕРАТУРА

Баринова В.А. Роль цифровизации в глобальном энергетическом переходе и в российской энергетике / В.А. Баринова, А.А. Девятова, Д.Ю. Ломов // Вестник международных организаций: образование, наука, новая экономика. – 2021. – Т. 16, № 4. – С. 126-145. DOI 10.17323/1996-7845-2021-04-06

Пахомова Н.В. Кросс-функциональная трактовка энергоперехода и реформирование российской теплоэнергетики в контексте глобальной климатической повестки / Н.В. Пахомова, А.В. Заединов // Проблемы современной экономики. – 2022. – № 3(83). – С. 109-114.

Рахимов Т. (2022) Итоги цифровизации в энергетическом секторе в 2022 году. URL: <https://www.elec.ru/news/2022/12/23/itogi-cifrovizacii-v-energeticheskom-sektore-v-2022.html?ysclid=lefky67m5u547551791> (дата обращения 20.04.2023).

Россети (2018). Концепция «Цифровая трансформация 2030». URL: https://www.rosseti.ru/investment/Kontseptsiya_Tsifrovaya_transformatsiya_2030.pdf (дата обращения 22.04.2023).

Хитрых Д.О цифровой трансформации энергетической отрасли / Д. Хитрых // Энергетическая политика. – 2021. – № 10(164). – С. 76-89. DOI 10.46920/2409-5516_2021_10164_76

Bean G., Davies C. Digitization of the Energy Industry // UH Energy White Paper Series No. 01.2020. URL: <https://uh.edu/uh-energy/research/white-papers/white-papers-files/digitization-of-energy-industry-web.pdf> (дата обращения 21.04.2023).

Booth A., Patel N., Smith M. (2020). Digital Transformation in Energy: Achieving Escape Velocity. McKinsey&Company. 3 September. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/digital-transformation-in-energy-achieving-escape-velocity> (дата обращения 22.04.2023).

IRENA (2017). Building innovation networks to transform the energy landscape. URL: <https://irena.org/newsroom/articles/2017/Dec/Building-innovation-networks-to-transform-the-energy-landscape> (дата обращения 18.04.2023)

IRENA (2019), Innovation landscape brief: Utility-scale batteries, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Enabling-Technologies_Collection_2019.pdf (дата обращения 18.04.2023).

Portulans Institute (2022) Network Readiness Index – Benchmarking the Future of the Network Economy. URL: <https://networkreadinessindex.org/> (дата обращения 22.04.2023).

Сведения об авторах:

Заединов Андрей Валерьевич, аспирант, инженер-исследователь, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия.

Zaedinov Andrei V., PhD Student, Research Engineer, St. Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia.

УДК 332.1
JEL R11

Д.С. Зиязов

Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН,
Новосибирск, Россия

Загрязнение воздуха и его влияние на внутригородскую мобильность населения в Красноярске

Аннотация. Работа посвящена анализу влияния загрязнения атмосферного воздуха на внутригородскую мобильность жителей современного мегаполиса, на примере города Красноярска с использованием ежедневных данных об уровне загрязнения воздуха. Главной задачей исследования является оценка экономических потерь различных индустрий города в связи с повышенным загрязнением воздуха. Рабочая гипотеза предполагает, что повышение уровня загрязнения воздуха ведет к снижению экономической активности горожан. Путем моделирования линейной регрессии было установлено, что повышение среднесуточного уровня загрязнения на 1 ПДК может приводить к снижению посещаемости торговых и развлекательных площадок на 4.2%. Также, в дни с повышенным уровнем загрязнения горожане менее склонны посещать парки и остановки общественного транспорта, тогда как пребывание в жилых помещениях напротив увеличивается.

Ключевые слова: загрязнение воздуха, мобильность населения, Красноярск, анализ данных.

D.S. Ziyazov

Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS,
Novosibirsk, Russia

Air pollution and its impact on intracity mobility in Krasnoyarsk

Abstract. This paper analyses the impact of air pollution on intra-urban mobility of residents in a modern metropolis, using the example of Krasnoyarsk city, using daily data on air pollution levels. The main objective of the study is to estimate economic losses of various industries in the