

<https://doi.org/10.17073/2072-1633-2022-3-308-322>

Цифровизация энергосектора: генезис, содержание, составляющие, методика оценки

И.Г. Ахметова , Ю.С. Валеева  , М.В. Калинина

Казанский государственный энергетический университет,
420066, Казань, ул. Красносельская, д. 51, Российская Федерация

 valis2000@mail.ru

Аннотация. В настоящее время в условиях перехода к освоению новых источников возобновляемой энергии вопросы цифровизации энергетического сектора становятся все более актуальными. Цифровизация захватывает все направления деятельности и предполагает интеграцию и трансформацию энергосистемы, что позволяет получить социально-экономические эффекты. Выделены пять групп показателей, (человеческий капитал, надежность и качество электроснабжения, доступность электроэнергии, операционная и инвестиционная эффективность, экологическая и политическая устойчивость, и инфраструктурная готовность страны к цифровизации), которые дают объективную оценку индексов цифровизации энергосектора конкретной страны. Апробация процедур и полученных результатов произведена методом факторного анализа с использованием ограниченных и способствующих функций. В результате оценки определены страны-лидеры с точки зрения цифровизации энергетического сектора, которые оказывают влияние на страны с низким уровнем цифровизации и на развитие механизмов и инструментов цифровизации сектора. В рамках данного исследования выделены предпосылки и основные составляющие готовности стран к цифровизации энергетического сектора. Примененная аналитика позволила выявить потенциальные точки роста цифровизации стран с более низким уровнем, разработать соответствующие мероприятия. Рассмотрены этапы цифровизации деятельности энергосектора России с указанием результирующих эффектов и направлений возможного ее развития.

Ключевые слова: энергетический сектор, цифровая экономика, цифровизация, цифровая трансформация, предпосылки, результаты, окупаемость

Для цитирования: Ахметова И.Г., Валеева Ю.С., Калинина М.В. Цифровизация энергосектора: генезис, содержание, составляющие, методика оценки. *Экономика промышленности*. 2022;15(3):308–322. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2022-3-308-322>

Digitalization of the energy sector: genesis, content, components, evaluation methodology

I.G. Akhmetova , Yu.S. Valeeva  , M.V. Kalinina

Kazan State Power Engineering University,
51 Krasnoselskaya Str., Kazan 420066, Republic of Tatarstan, Russian Federation

 valis2000@mail.ru

Abstract. Currently, in the context of the transition to the development of new sources of renewable energy, the issues of digitalization of the energy sector are becoming increasingly relevant. Digitalization captures all areas of activity and involves the integration and transformation of the energy system, which makes it possible to obtain socio-economic effects. Five groups of indicators have been identified (human capital, reliability and quality of power supply, availability of electricity, environmental sustainability, and political and infrastructural readiness of the country for digitalization), which provide an objective assessment of the digitalization indices of the energy sector of a particular country. Approbation of the procedures and the results obtained was carried out by the method of

factor analysis using limited and contributing functions. As a result of the assessment, the leading countries were identified in terms of the digitalization of the energy sector, which have an impact on countries with a low level of digitalization and on the development of mechanisms and tools for the digitalization of the sector. As part of this study, the prerequisites and main components of the readiness of countries for the digitalization of the energy sector are highlighted. The applied analytics made it possible to identify potential points of growth in the digitalization of countries with its low level, to develop appropriate measures. Seven stages of the processes of digitalization of the Russian energy sector are identified, indicating the resulting effects and directions for its possible development.

Keywords: digital economy, energy sector, digitalization, digital transformation, prerequisites, payback, results

For citation: Akhmetova I.G., Valeeva Yu.S., Kalinina M.V. Digitalization of the energy sector: genesis, content, components, evaluation methodology. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2022;15(3):308–322. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2022-3-308-322>

能源行业的数字化：起源、内容、组成部分、评估方法

I.G. 阿赫梅托娃 , Yu.S. 瓦列耶娃  , M.V. 加里尼娜

喀山国立动力大学, 420066, 俄罗斯联邦, 喀山市克拉斯诺塞尔斯卡亚大街51号

 valis2000@mail.ru

摘要：当前，在向新的可再生能源过渡的背景下，数字化问题正变得越来越重要。数字化涵盖所有活动领域，涉及到能源系统的整合和转型，它将促进社会和经济效益的提升。本文的主要目的是全面揭示与能源行业相关的数字化特征，采用已开发的方法在国家层面评估能源行业数字化发展状况，并找出推动因素和阻碍因素。已经确定了五组指标，通过这些指标对特定国家能源行业的数字化指数进行客观评估。数字化的过程和效果在制约和促进因子的结构分析中得到了验证。研究对象是不同国家的能源行业，研究主题是数字化转型过程。在本研究框架内，强调了研究不同国家对能源行业数字化的准备情况的相关性和重要性。通过分析明确了能源行业数字化的先决条件。此外，确定俄罗斯能源行业数字化的七个阶段，注明数字化的效果和内容。该研究介绍了能源行业数字化水平处于领先地位的国家，这将对数字化水平较低的国家以及行业数字化机制和工具的开发产生积极影响。

关键词：数字化、能源行业、数字经济、数字化的方法、数字化的效果、回报率、数字化的先决条件、数字化转型

Введение

Трансформация энергетического сектора в настоящее время затрагивает все энергетические системы стран мира. Трансформация связана с реализацией соблюдения режима устойчивого экономического развития, так как энергетическая политика определяется событиями, обусловленными климатической и энергетической стабильностью, а также социально-экономическими особенностями конкретной территории [1]. Соответственно, основными задачами энергетического сектора являются обеспечение не только надежности, но и экономической, технологической, социальной эффективности всего энергоснабжения страны.

Эффективная энергетика – успешно действующий драйвер экономического развития территории. Основной поставленной в исследовании задачей является изучение инновационности

энергосистем, их цифровизация, принципы и условия объединения территориально-производственных комплексов и потребителей в единую энергосистему [2]. По данным Глобального совета по ветроэнергетике, в мировой энергетике по состоянию на 2020 г. установлены ветроэлектрические установки (ВЭУ) мощностью более 600 000 МВт [3]. Основными производителями ветровой энергии являются Китай – более 220 000 МВт, США – более 98 000 МВт, Германия – более 60 000 МВт.

Международная ассоциация солнечной энергетики (*Wood Mackenzie Power & Renewables*) отмечает, что к 2020 г. в США было установлено более 2,2 млн солнечных электростанций. При этом в США планируют, что к 2023 г. этот показатель по стране составит 4 млн солнечных электростанций. Китай является мировым лидером по производству электроэнергии из возобновляемых

источников: на начало 2020 г. генерация составила около 800 ГВт – в два раза больше, чем в США, которые занимают второе место в мире [4]. Поэтому управление потреблением является важным инструментом для мобильности энергетического сектора в рамках реализации программ возобновляемой электроэнергии.

Принимая во внимание общемировую направленность на развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ), проводимые исследования позволяют определить и оценить возможности комбинированного или последовательного использования солнечной и ветровой энергии в зависимости от особенностей территории с высоким пространственным и временным разрешением, суточного хода использования источников электроэнергии, зависимости от месяца и временной шкалы, а также за счет ВИЭ позволяют предложить оптимизировать производство электрической и тепловой энергии [5]. Перспективными становятся исследования по имитации природных способов преобразования сточных вод в питьевую воду в виде пара как нетрадиционных энергетических ресурсов. Кроме того, применение солнечной энергии с использованием передовых материалов для производства фильтров позволяет создавать новые конструкции с фотокаталитическими фильтрами для очистки воды [6]. Другим важным направлением в трансформации энергосектора является расширение спектра применения солнечной энергии в пищевой промышленности и других отраслях [7]. Страны с высоким уровнем ветрового потенциала при государственной поддержке позволяют развивать новые инновационные проекты ВИЭ [8]. В развитии энергосектора большую роль играют малые компании, которые осуществляют производство ВИЭ на территориях с большим ветровым потенциалом. При этом при разработке стратегии трансформации энергосектора важно учитывать внутренние и внешние факторы, проблемы эксплуатации крупных и малых энергопредприятий [9]. Цифровизация процессов производства и применение сквозных технологий при реализации выше обозначенных инноваций позволят минимизировать расходы энергосектора и оказывать конкурентоспособные услуги конечным потребителям.

Имеющийся мировой опыт цифровизации при создании разного рода информационных систем не распространяется на топливно-энергетический сегмент в целом [10]. Необходимо также учитывать, что цифровое развитие связано с национальной культурой и менталитетом населения на конкретной территории. Также стоит от-

метить, что энергетика требует новых подходов к ее обустройству в связи с повышенными требованиями к охране окружающей среды [11].

Основной целью представленной статьи является комплексное раскрытие особенностей цифровизации применительно к энергетике, оценка цифровизации энергетического сектора в разрезе стран на основе разработанной методики, выявление способствующих и отрицательных факторов цифровизации.

Объектом исследования является энергетика развитых стран, предметом исследования – процесс цифровой трансформации.

Научное применение данного исследования представлено в следующих положениях: рассмотрены особенности основных этапов цифровизации, предпосылки к цифровизации энергетической отрасли, охватывающие ее содержание и имеющиеся эффекты от ее применения.

Цифровизация важна для всех направлений деятельности энергосектора и предполагает интеграцию и трансформацию энергосистемы, что позволяет получить социально-экономические эффекты. Исследование приблизительных подходов к содержанию цифровизации позволяет определить основные направления развития цифровых технологий и использование сквозных технологий. Выделяют пять групп показателей: 1) человеческий капитал; 2) надежность и качество электроснабжения; 3) доступность электроэнергии; 4) операционная и инвестиционная эффективность; 5) экологическая и политическая устойчивость, и инфраструктурная готовность страны к цифровизации. В совокупности эти показатели дают объективную оценку индекса цифровизации энергосектора конкретной страны. Апробация процедур и полученных результатов легли в основу проведения факторного анализа с выделением ограниченных и способствующих функций. Научным превращением предложенной методики является компиляция кратких подходов, существенная доля больших величин, таких как человеческий капитал, экологическая и политическая устойчивость, готовность страны к цифровизации.

Определяющими факторами эффективности и развития реального сектора экономики в цифровой экономике являются: информация, методы управления и методы использования.

К спросу на новые цифровые навыки приводит рост использования цифровых технологий на рабочем месте в трех областях: общие навыки информационно-коммуникационные технологии (ИКТ), профессиональные навыки ИКТ, дополнительные навыки [12].

Результатами основных предпосылок цифровизации энергосектора стали [13–14]:

1. *Оцифровка текущей операционной модели.* Передовые компании переосмысливают или выстраивают с нуля бэк-офисные процессы для реализации потенциала роботизации: роботизируют автоматизацию процессов, цифровизируют внутренние интерфейсы (именуемые «стыки») для взаимодействия с потребителем, повышают доступность данных и их использования в принятии решений. Также это касается инструментов для управления персоналом, их в данном случае цифровизируют.

2. *Расширение компетенций.* Целесообразно наращивать компетенции сотрудников в использовании внедренных технологий – «умных» счетчиков – это значительно увеличивает объем данных по сравнению со сбором вручную и углубленным анализом этих данных, так как его нельзя проводить стандартными средствами (например, таблицами Excel).

Для расширения портфеля продуктов и потоков доходов коммунальные предприятия также должны сотрудничать с компаниями в сфере финансов, телекоммуникаций и электронной коммерции. От конкретного региона зависит распространение и развитие технологий; также играет роль наличие государственной поддержки и готовности компании инвестировать.

3. *Поддержка существующих систем, продолжает прилагать усилия по увеличению генериру-*

ющих мощностей. Разработка стратегий управления активами с использованием аналитики больших данных, которые включают централизацию удаленного обслуживания, автоматизацию и цифровизацию процессов для обеспечения стабильности систем в режиме реального времени, внедрение платформ реагирования на запросы потребителей с предиктивной аналитикой для клиентов, а также предоставление продуктов «умного дома» и услуг по управлению энергией.

Этапы цифровизации в России

В табл. 1 представлены 7 основных исторически сложившихся этапов цифровизации предприятий топливно-энергетического комплекса (ТЭК), свидетельствующих о том, что цифровизация проникает во все виды деятельности предприятий. В рамках последнего, седьмого этапа, отдельным направлением, дающим исходную базу для цифровой трансформации организации управления производственными активами (УПА), является внедрение систем УПА на основе создания интеллектуальных систем технического обслуживания и ремонта систем. Информационные подсистемы организации реализации продукции, закупочной деятельности, документооборота также в целом автоматизированы. Основной задачей цифровизации энергетического предприятия является консолидация информационных подсистем, проведение логистической аналитики, анализа договоров, планирования

Таблица 1 / Table 1

Этапы цифровизации энергетики в России

Stages of energy digitalization in Russia

Период	Содержание цифровизации	Полученный эффект
1950–1960 гг.	Для решения прикладных производственных задач стали применяться компьютеры	Переход от фрагментарного использования электронно-вычислительных машин (ЭВМ) при решении отдельных инженерных задач к системным
1970–1980 гг.	Первая волна промышленной автоматизации	Решены задачи оперативного планирования
1980–1990 гг.	Появление персональных компьютеров	Расширение функциональных задач
1990–2000 гг.	Развитие Интернета	Развитие конкурентоспособности, расширение сфер влияния, взаимодействия. Экономический эффект
2000–2010 гг.	Развитие человекозамещающих технологий. Автоматизация	Современные тенденции развития программного и аппаратного обеспечения. Сокращение объема работы, необходимой для производства определенных товаров и оказания услуг
2010–2019 гг.	Трансформация – растущие успехи в развитии передовых технологических направлений, робототехника, блокчейн, технологии виртуальной и дополненной реальности	Усовершенствование технической базы, влияние на эффективное использование производственных фондов и мощностей, увеличение доли овеществленного и уменьшение живого труда на единицу продукции
2019–н.в.	Переход работы руководителей и работников энергетического комплекса в онлайн-формат	Цифровизация бизнес-процессов, позволяющая организовать работу сотрудников энергосистемы на удалении

и бухгалтерского учета, устранение разрозненных решений и создание единой системы платформы управления ресурсами.

Не менее важный фактор и точно отражающий цифровую трансформацию бизнеса – это глубокая интеграция систем.

В совокупности показатели не должны представлять собой разрозненные платформы, а быть очень тесно интегрированы с основным ядром управления ресурсами. Возникающий синергетический эффект цифровизации носит глобальный характер и не ограничивается рассматриваемой узкой сферой производства, транспорта, распределения, продажи и потребления энергоресурсов. Цель цифровой трансформации состоит не в решении отдельных узкопрофильных задач, о которых говорилось выше, а в наступлении нового технологического уклада, обеспечивающего качественно новые условия жизни человека.

Энергетический сектор имеет свою внутреннюю направленность, и важно ставить цели цифровизации в рамках отраслевых аспектов. Так, применительно к энергетическим предприятиям можно выделить цифровизацию в управлении персоналом. Апробировать большие данные для анализа данных с установленных датчиков с помощью цифровых двойников станций, которые позволяют прогнозировать выход из строя важных элементов и узлов для оптимизации эффективной работы.

В табл. 2 представлены показатели, оказывающие экономический эффект от использования больших данных.

На основе анализа литературы рассмотрим основные составляющие и содержание цифровизации в энергетике. Согласно отчету НИУ

«Высшая школа экономики», цифровизация и последующая за ней трансформация предполагают, что новые технологии будут вводиться по принципу внедрения множества технологически разнообразных решений, востребованных в той или иной отрасли экономики или социальной сфере [15].

В статье мы консолидируемся с материалами Минэнерго России, в которых упоминается, что цифровизация дает возможность управлять сложными энергосистемами, способствует развитию широкого спектра новых технологий и открывает доступ к рынкам будущего [23].

В табл. 3 представлены основные подходы к содержанию цифровизации в энергетике.

Таким образом, цифровизацию следует понимать как процесс получения информации и результатов измерений в численном формате, а также рассматривать сквозные технологии в управленческо-производственном процессе предприятия.

В табл. 4 представлены сквозные технологии и их практическое использование в цифровизации.

Таким образом, ускоренное развитие цифровых технологий и наблюдаемый скачок к Индустрии 5.0, основанной на синергии человека и машины [20], ставит новые задачи по повышению устойчивости и эффективности производства электроэнергии. Основным фактором развития Индустрии 5.0 является адаптация существующих цифровых технологий к индивидуальным потребностям потребителей.

В настоящее время разработано большое количество моделей оценки цифровизации стран (табл. 5).

Таблица 2 / Table 2

Экономический эффект от использования больших данных

Economic effect from the use of big data

Показатель	Экономический эффект
Увеличение цены акций	В 2 раза
Повышение удовлетворенности команды	На 40 %
Снижение операционных и капитальных затрат	На 20 %
Снижение инвестиций	На 15 %
Продление срока службы активов	На 10 %
Обеспечение роста выручки от основной деятельности	На 10 %
Повышение производительности персонала	На 10 %
Удешевление технического обслуживания	Воздушная линия – на 10 %, подстанция – на 20 %
Обеспечение роста прибыли (<i>Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation, Amortization – EBITDAX</i>)	На 30 %
Увеличение операционного дохода	На 40 %

Таблица 3 / Table 3

Сущность цифровизации в энергетике по критериям, выделенным авторами статьи

The essence of digitalization in the energy sector according to the criteria identified by the authors of the article

Критерий	Автор	Краткое определение
Эффективный инструмент коммуникации	П. Майклман [16]	Необходимость кардинальных изменений стереотипов мышления, методов работы, управления организациями
Конкурентоспособность в цифровизации	П. Майклман [16]	Использование цифровых технологий для обновления и диверсификации бизнес-процессов
Новые бизнес-модели, соединяющие физический и цифровой мир	Д. Холкин [18]	Начало формирования и использования моделей физического мира с помощью умных машин
Экономическая деятельность, коммерческие сделки и профессиональные взаимодействия строятся на новых принципах с его использованием	Отчет оценки соответствия требованиям охраны труда, окружающей среды и безопасности (ОТОСБ) [21]	Изменение и развитие комплекса производственных, экономических отношений в отрасли на основе цифровых подходов и инструментов
Цифровизация	А. Обухова, Е. Мерзлякова, И. Ершова, К. Каракулина [19]	Процесс внедрения современных цифровых технологий в производственный процесс и процесс управления предприятием

Источник: составлена авторами на основе данных [21, с. 1; 16, с. 7; 18, с. 2; 19, с. 3]

Source: compiled by the authors based on data [21, p. 1; 16, p. 7; 18, p. 2; 19, p. 3]

Таблица 4 / Table 4

Технологии сквозной цифровизации в энергетике

End-to-end digitalization technologies in the energy sector

Сквозные технологии	Практическое использование
Появление цифровой платформы в любой отрасли значительно снижает транзакционные издержки	Вытеснение машинами неэффективных операций, требующих рутинного человеческого участия, из экономической и социальной жизни
Подход «умных сетей» к производству, транспортировке и системам распределения тепла	Внедрение умных тепловых сетей, учета и возможность расширения спектра услуг, предоставляемых потребителям
Интернет больших вещей	Система мониторинга физических объектов через Интернет, сбор данных на базе установленного оборудования в режиме реального времени. На основе собранной информации специалисты улучшают качество своей продукции
Машинное обучение	Одно из самых эффективных и быстроразвивающихся решений проблемы обработки постоянно растущего объема данных
Электронная идентификация	Значительный потенциал для упрощения ряда процессов на энергетических рынках
Цифровая координация	Координация участников энергетического рынка
Интерфейс прикладного программирования	Ключевой элемент автоматизированной интеграции систем управления, сбора и анализа данных
Блокчейн	Упрощение и расширение интеграции ВИЭ и электромобилей
Кибербезопасность	Безопасное внедрение инструментов цифровизации
Цифровой дизайн, математическое моделирование и управление жизненным циклом продукта или продуктов (<i>Smart Design</i>)	Использование в процессе проектирования и дальнейшей эксплуатации сложных (опасных) технических объектов, таких как месторождения полезных ископаемых, электростанции и т.д. Цифровые двойники оптимизируют работу и обслуживание инфраструктуры. Уровень использования этой технологии значительно возрастет
Технологии умного производства. Различные системы автоматизации (<i>Enterprise Resource Planning – ERP</i>), <i>Manufacturing Execution System – MES</i>), <i>Master Data Management – MDM</i>) и технологии управления жизненным циклом энергетической инфраструктуры	Позволяют интегрировать работу всех участников производственных площадок, проектных и строительных компаний, сервисных компаний в единую среду

Окончание табл. 4

Сквозные технологии	Практическое использование
Манипуляторы и технологии манипулирования	Применяются на сложных объектах, где работа связана с повышенным риском для работающих, а также при возникновении аварий и инцидентов
Датчики термометров контактных, цифровые компоненты для взаимодействия человека и машины	Применяются в обслуживании энергетической инфраструктуры (например, гидроэлектростанций) могут быть сопряжены с высокими рисками для работников
Компьютерное зрение	Автоматизация контроля за выполнением требований безопасности персоналом электростанции и работниками, обслуживающими линии электропередачи. На основе компьютерного зрения обследование роботизированными комплексами помещений и территорий карьеров, месторождений, трубопроводов, линий электропередачи и электростанций для поиска разного рода проблем, особенно в опасных или недоступных для людей местах
Обработка естественного языка	С помощью нейронных сетей обеспечивает мониторинг объектов и транспорта (передачи) энергоресурсов, также может точно анализировать характеристики информационных сообщений, выполнять предварительную обработку, информировать модели идентификации событий для обнаружения аномальных ситуаций. Автоматизация вспомогательных процессов с помощью чат-ботов, для чего требуются специализированные словари
Распознавание и синтез речи	Освобождение рук людей, работающих на высоте на опорах линий электропередачи или в шахтах, когда им необходимо одновременно записывать какую-либо информацию
Рекомендательные системы и интеллектуальные системы поддержки принятия решений	Используется для оптимизации распределения сетей и потребителей, управления мощностями по хранению и передаче электроэнергии, мониторинга и ремонта текущего состояния оборудования, оптимизации процессов производства ископаемых видов энергии и сокращения времени простоя майнингового оборудования
Передовые методы и технологии искусственного интеллекта	Использование данных с таких устройств, как интеллектуальные датчики, данные с оборудования и математические модели для принятия решений на основе технологии искусственного интеллекта. Интернет энергетики обеспечивает гибкое взаимодействие между потребителями и поставщиками энергии

Источник: составлена авторами на основе данных [17, с. 3; 18, с. 5; 20, с. 8]

Source: compiled by the authors based on data [17, p. 3; 18, p. 5; 20, p. 8]

Таблица 5 / Table 5

Модели исследования уровня готовности цифровизации объектов

Approaches to the study of the readiness level of digitalization of objects

Модель	Описание
Цифровой бизнес-центр Мас-сачусетского технологического института	Анализ более 400 крупных компаний из различных отраслей позволил выявить три ключевые направления цифровой трансформации: клиентский опыт (<i>Transforming Customer Experience</i>), операционные процессы (<i>Transforming Operational Processes</i>) и бизнес-модели (<i>Transforming Business Models</i>) [14]
Модель цифровой зрелости Deloitte ²⁷	Оценивает цифровой потенциал по пяти основным измерениям организации (клиент, стратегия, технология, операции, организация и культура) Пять основных измерений подразделяются на 28 подизмерений, которые далее подразделяются на цифровые зрелости, которые, в свою очередь, подразделяются на 179 показателей для оценки цифровой зрелости. Упор делается на бизнес-стратегии, которые определяют направленность трансформации [14]
Индекс цифровой трансформации (<i>Digital Transformation Index</i>), разработанный аналитическим институтом Arthur D. Little	Имеет более сегментированную оценку: 1) стратегия и управление; 2) продукты и услуги; 3) управление клиентами; 4) операции и цепочка поставок; 5) корпоративные услуги и контроль; 6) информационные технологии; 7) рабочие места и культура [17]
Модель оценки цифровых способностей DBA (<i>Digital Business Aptitude</i>) компании KPMG	Объединяет пять областей оценки: 1) потребители (<i>Customer</i>); 2) стратегия (<i>Strategy</i>); 3) технологии (<i>Technology</i>); 4) операции, в том числе производство (<i>Operations</i>); 5) структура и культура организации (<i>Organisation & Culture</i>) [21]
Цифровое пианино	Аналогично семи примечаниям выделяют семь категорий трансформации (<i>Transformation Category</i>): 1) бизнес-модель; 2) организационная структура; 3) люди; 4) процессы; 5) возможности ИТ; 6) предложения; 7) модели взаимодействия [3]

Источник: составлена авторами на основе данных [14, с. 2; 14, с. 8; 17, с. 2; 21, с. 3]

Source: compiled by the authors based on the data [14, p. 2; 14, p. 8; 17, p. 2; 21, p. 3]

Методы и подходы оценки готовности стран к цифровизации

Помимо общетеоретических методов дедукции, индукции, синтеза и анализа научного знания, в работе используется ряд статистических методов и индексный метод, который позволит определить алгоритм оценки готовности стран к цифровизации. Одним из них является метод сравнения, который позволил объединить существующие подходы к процессу цифровизации в энергетическом секторе, факторам, влияющим на ее трансформацию, и систему показателей для ее оценки с точки зрения эффективности.

Для более полной оценки предлагается разделить систему на пять групп показателей.

Группа 1. «Человеческий капитал». Уровень специализированной производственной подготовки и структура занятости рабочей силы в энергетическом секторе; чем больше людей занято в этом секторе, тем больше будет инициатив по преобразованию отрасли.

Группа 2. «Надежность и качество электроснабжения» – низкая надежность затрудняет принятие решений о реформах, пока не будут решены основные проблемы отрасли.

Группа 3. «Доступность электроэнергии». Высокие цены на электроэнергию снижают конкурентоспособность экономики, т.е. легче принять решение о преобразовании. Для предприятий инерция подключения новых потребителей невелика, но для домохозяйств важен вопрос доступа к энергоэффективности.

Группа 4. «Операционная и инвестиционная эффективность». Развитие малой распределенной энергетики (МРЭ) является стимулом для новых игроков на рынке производства электроэнергии, для которых важно долговое финансирование. Также трудно развивать энергетический сектор новой парадигмы без иностранных инвестиций, следовательно, необходима открытость страны для новых технологий.

Группа 5. «Экологическая и политическая устойчивость, и инфраструктурная готовность страны к цифровизации». Окружающая среда сегодня в основном формирует политический имидж страны. Структура энергосистемы облегчает начало цифровизации промышленности. Однако могут возникнуть проблемы с балансировкой энергосистемы, если не будет хватать крупномасштабной газовой или гидроэнергетической генерации. Без стремления создать новую нормативно-правовую базу изменения не произойдут, не будет равных условий для всех потенциальных инвесторов.

В табл. 6, по данным официальных сайтов, представлены индикаторы и показатели, используемые в системе оценки готовности стран к цифровизации.

Для построения интегрального индекса цифровизации стран сначала необходимо найти частные индексы для каждого региона в пяти блоках, указанных выше. Для этого показатели нормируются, поскольку все они исчисляются в процентах. Нормирование производится по формуле

$$UGT_{ij} = \frac{X_{ij}}{100}, \quad (1)$$

где UGT_{ij} – частный индекс i -го блока для j -го региона; X_{ij} – показатель i -го блока для j -го региона.

Поскольку в анализе используются данные за 2016–2020 гг., после стандартизации показателей за все годы средний частный индекс рассчитывается по каждой стране за пять лет как среднее арифметическое. Для получения интегрального показателя цифровизации страны (ИК) суммируются средние частные показатели, полученные по пяти блокам. Далее страны ранжируются на основе полученного значения общего индекса цифровизации. Чем он больше, тем выше страна в рейтинге. Оценивая результаты расчетов интегрального показателя цифровизации по странам, их можно ранжировать.

В рамках апробации предложенной методики на первом этапе были произведены расчеты показателей в период с 2016 по 2020 г. на основании официальных данных, представленных на сайтах организаций и рейтинговых агентств. По сумме этих показателей рассчитан интегральный показатель готовности энергетики к цифровизации в странах, входящих в первую группу (табл. 7). Затем на втором этапе производился расчет среднего арифметического удельного показателя.

Данная аналитика проведена по 30 странам и выделены три группы исследуемых стран.

В первую группу входят страны с интегральным показателем от 3,8 до 5,2. Это страны с высоким уровнем готовности к цифровизации, имеющие результаты цифровых проектов с высоким уровнем экономической эффективности в сфере энергетики.

Вторая группа – от 3,65 до 3,8. Это группа со средним уровнем готовности к цифровизации предприятий энергетического сектора стран, но имеющая положительные результаты в развитии проектов цифровизации предприятий энергетического сектора.

Таблица 6 / Table 6

Показатели оценки готовности стран к цифровизации в сфере энергетики

The system of indicators for assessing the readiness of countries for digitalization in the energy sector

Индикатор	Показатель	Источник информации
Человеческий капитал	Общее количество образовательных организаций по направлению «Инженерное электрооборудование и электроника» в топ-500 рейтинга, шт.	World University Rankings https://www.timeshighereducation.com/world-university-rankings
	Доля рабочих мест в сегменте МРЭ (включая ВИЭ с гидроэнергетикой) от общей численности рабочей силы, %	Отраслевые ассоциации IRENA https://www.irena.org/https://www.np-sr.ru/ru/organizacii-informacionnogo-fonda/mezhdunarodnoe-agentstvo-vozobnovlyаемoy-energetiki-irena
Надежность и качество электроснабжения	SAIFI (средний индекс частоты отказов системы). Наличие электроэнергии	Мир Банк https://www.worldbank.org/
	Доля свободных мощностей в общих энергетических мощностях, %	Ежегодник мировой энергетики https://yearbook.enerdata.ru/ Мир Банк https://www.worldbank.org/
Наличие электроэнергии	Отношение средней заработной платы по стране (нетто) к цене энергоэффективности для населения, долл. США/кВт·ч	Государственная служба статистики стран Enerdata https://yearbook.enerdata.ru/
	Обеспеченность населения топливом и энергией, %	Федеральная служба государственной статистики https://yearbook.enerdata.ru/
Операционная и инвестиционная эффективность	Глобальный мировой рейтинг стран и территорий с точки зрения прямого иностранного инвестирования по номинальной (абсолютной) стоимости, долл. США в текущих ценах (скорость изменения стоимости показателя в отчетном периоде к предыдущему)	Группа Всемирного банка Международный Валютный Фонд Конференция Организации Объединенных Наций по торговле и развитию (ЮНКТАД)
Экологическая и политическая устойчивость, и инфраструктурная готовность страны к цифровизации	Выбросы CO ₂ на душу населения, т/чел.	Всемирный банк https://www.worldbank.org/
	Регуляторный показатель устойчивого развития в области возобновляемой энергетики	Трансперенси Интернэшнл https://transparency.org.ru/
	Энергоемкость ВВП	Всемирный проект правосудия https://worldjusticeproject.org/

Таблица 7 / Table 7

Данные для расчета интегрального показателя готовности к цифровизации энергетики стран 1-й группы

Data for calculating the integral indicator of readiness for digitalization energy sector of the countries of the first group

Страна	УНС	Cheka	NDE	DEE	OIE	EH
Швейцария	4,27	0,98	0,74	0,78	0,95	0,82
Швеция	4,24	0,96	0,77	0,76	0,94	0,81
Канада	4,16	0,91	0,77	0,75	0,93	0,8
ОАЭ	4,08	0,87	0,76	0,72	0,93	0,8
Корея	4,05	0,88	0,77	0,71	0,93	0,79
Азербайджан	4,03	0,87	0,73	0,7	0,92	0,78
Сингапур	4,02	0,88	0,72	0,72	0,91	0,79
Беларусь	4,0	0,89	0,71	0,73	0,9	0,78
Франция	3,99	0,90	0,72	0,7	0,91	0,76
Словения	3,98	0,92	0,73	0,7	0,9	0,78
Ирак	3,91	0,89	0,71	0,71	0,9	0,77
Новая Зеландия	3,86	0,81	0,7	0,7	0,89	0,76
Чехия	3,82	0,78	0,69	0,71	0,89	0,75
Финляндия	3,81	0,77	0,68	0,7	0,88	0,74
Соединенное Королевство	3,8	0,76	0,68	0,69	0,87	0,73

Примечание. УНС – интегральный показатель оценки готовности стран к цифровизации в энергосекторе, полученный индексным методом, Cheka – индикатор человеческого капитала, NDE – индикаторы надежности и качества электроснабжения, DEE – индикатор наличия электрической энергии, OIE – индикатор операционной и инвестиционной эффективности, EH – индикатор экологическая устойчивость и политическая и инфраструктурная готовность страны к цифровизации.

Третья группа – меньше 3,65. В нее входят страны с низким уровнем цифровизации. Есть большой потенциал, но, возможно, недостаточное финансирование и поддержка со стороны государства в реализации цифровых проектов в энергетике.

По сумме показателей, представленных в табл. 7, рассчитан интегральный показатель готовности энергетики к цифровизации в странах, входящих в первую группу.

Швейцария (1-е место). Энергетика как одна из составляющих реального сектора швейцарской высоко цифровизированной экономики. Это подтверждает 3-е место страны в международных рейтингах IMD World Digital Competitiveness Rating (2020 г.). Швейцария является лидером по внедрению «зеленой» энергетики для обеспечения «умных» городов, что позволило ей занять лидирующие позиции.

Швеция (2-е место). Является одной из ведущих стран в области цифровизации, которая в последние годы стала основным драйвером экономического развития страны. Доля добавленной стоимости сектора ИКТ в Швеции является одной из самых высоких среди стран ОЭСР, кроме того, страна входит в десятку крупнейших экспортеров ИКТ-услуг в мире.

Канада (3-е место). Ядерная энергия является важной частью энергетического сектора Канады. На канадскую атомную энергетику в 2018 г. приходилось около 4 % мирового производства ядерной энергии (6-е место в мире). И это в стране, где проживает около 0,5 % населения мира. В настоящее время активно идет процесс цифровизации ее ядерной энергетики.

Объединенные Арабские Эмираты (ОАЭ) (4-е место). Для повышения эффективности и креативности своей работы и обеспечения международного лидерства правительство этой страны сделало цифровизацию своей экономики приоритетной задачей. По уровню цифровой адаптации ОАЭ занимают 1-е место среди арабских стран на Ближнем Востоке и в Северной Африке. По этому показателю ОАЭ приближаются

к ведущим странам мира: в стране самый высокий уровень цифровой идентичности, измеряемый целым рядом показателей, включая доступ к услугам и электронные подписи.

В табл. 8 приведены результаты рейтинга готовности стран по трем группам.

Как и в странах-лидерах в России лидерами цифровизации являются крупные компании. Малые и средние предприятия (МСП) отстают в принятии новых цифровых решений. Отрасли с высокой концентрацией, имеющие доступ к значительным инвестиционным ресурсам, в которых доминирует крупный бизнес, демонстрируют больший прогресс в цифровизации. Цифровизация энергетики напрямую связана с распространением и распределением интеллектуальных энергетических систем, а также соответствующих моделей потребления ресурсов. При этом в различных отраслях внедрение цифровых технологий, а тем более цифровая трансформация, требуют различных вложений, в том числе по объему и срокам реализации. Одной из особенностей электроэнергетики является неравномерность потребления электроэнергии. Сбалансировать спрос и предложение помогают новые цифровые решения. Их применяют как для управления энергосистемами и технологиями распределенной энергетики, так и для более эффективного и быстрого распределения энергии. Искусственный интеллект (ИИ) наиболее широко используется организациями горнодобывающего комплекса (66,7 %), финансового сектора (46,4 %) и энергетики (40 %). Цифровая трансформация в электроэнергетике направлена на повышение надежности электрообеспечения, ограничение роста цен на электроэнергию и развитие новых форм взаимодействия (услуг) с потребителями. В этой области внимание сосредоточено на постепенном формировании интеллектуальных сетей на национальном и муниципальном уровне.

При этом можно выделить факторы, способствующие и негативно влияющие на цифровизацию в энергетике (табл. 9).

Таблица 8 / Table 8

Результаты рейтинга готовности к цифровизации энергетики стран по трем группам

The results of the rating of readiness for digitalization of the energy sector of countries by three groups

1-я группа	УНС	2-я группа	УНС	3-я группа	УНС
Швейцария	4,27	Дания	3,77	Казахстан	3,0
Швеция	4,24	Португалия	3,74	Индонезия	3,0
Канада	4,16	Испания	3,72	Узбекистан и др.	2,9
ОАЭ	4,08	Россия	3,7	США	2,79

В рамках данного исследования был проведен анализ экономических эффектов, позволяющих получить уровень цифровизации в энергетике (табл. 10).

Помимо существующих методов, данное исследование позволило уточнить и определить уровень готовности к цифровизации в энергетике разных стран. При этом следует отметить, что научно значима оно тем, что позволяет оценить не уровень цифровизации, а степень готовности страны к ней. В долгосрочной перспективе страна может увеличить эти показатели, поскольку данные рейтинга являются потенциальным ре-

зультатом дальнейшего развития цифровизации изучаемой отрасли. Основным объектом исследования стала Россия, она занимает уверенную позицию по степени готовности точки роста. Важно отметить, что изучение данного аспекта требует дальнейшего рассмотрения, в том числе в разрезе конкретных регионов изучаемых стран, для выработки соответствующих управленческих решений и проведения эффективной аналитики.

Проанализируем связь инноваций и цифровой активности предприятий энергосектора. Рассматривая особенности инновации энер-

Таблица 9 / Table 9

Факторы, способствующие и негативно влияющие на цифровизацию в энергетике

Factors contributing to and negatively affecting digitalization in the energy sector

Способствующие факторы	Негативные факторы
Улучшение качества жизни	Неграмотная трата рабочего времени
Возникновение экономических и социальных эффектов	Усиленный контроль на различных узлах предприятия
Появление систем управления заменителями человека	Сокращение рабочих мест
Появление новых бизнес-моделей	Переосмысление знакомых бизнес-моделей
Обеспечение доступности в продвижении товаров и услуг	Не полная готовность к цифровым решениям
Повышение прозрачности хозяйственных операций и обеспечение возможности их мониторинга	Отсутствие квалифицированных сотрудников

Таблица 10 / Table 10

Результаты цифровизации в энергетике

Table of results of digitalization in the energy sector

Направление	Результаты
Интеллектуальное управление потреблением	В 2014 г. рынок оценивался в 5 млрд долл. США, перспективы роста к 2022 г. в 5 раз
Интеграция ВЭИ	Сохранение баланса при увеличении доли ВЭИ потребует большей межсистемной интеграции с расширением ее использования для цифровых технологий
Интеллектуальная зарядка электромобилей	«Умная» зарядка невозможна без цифровой инфраструктуры: она снизит мощность, необходимую для электромобилей, к 2040 г. со 140 до 75 ГВт (при условии, что количество электромобилей равно 150 млн шт.)
Появление маломощных распределенных источников питания	Интеграция таких источников, как блокчейн, микросети, виртуальные электростанции возможна только при цифровизации
Виртуальные электростанции	В сочетании с аккумуляторами по цифровым технологиям виртуальные электростанции могут обеспечить надежность электроснабжения
Интеллектуальные сети	Снизить потребность в строительстве резервных электростанций, расширить возможности интеграции возобновляемых источников энергии и снизить потребность в отключении в случае перегрузки по току
Блокчейн	В будущем становится возможным ввод в эксплуатацию саморегулирующейся, автономной и самобалансирующейся энергосистемы с миллионами производителей и потребителей, а также автоматизацией платежей посредством микротранзакций
Интеллектуальное управление потреблением	Динамические переменные ставки более выигрышны при управлении нагрузкой, чем жесткие

гокомпаний, следует отметить, что инновации способны обеспечить определенный прорыв в появлении новых сфер деятельности, расширении накопленного положительного опыта, позволяющее обеспечить высокий уровень развития общества, базовых ценностей личности или сотрудников организации, повышении конкурентоспособности предприятий энергосектора. Цифровизация является одним из инструментов инноваций. Важно отметить, что анализируемые страны находятся на разных этапах цифровой трансформации энергетического сектора, полученные результаты оценки цифровой готовности стран свидетельствуют о том, что страны, входящие в первую группу, являлись лидерами по внедрению инноваций в деятельность энергокомпаний, в том числе по оцифровке производственных и управленческих процессов. Лидерами являются западноевропейские страны с большим опытом внедрения цифровых технологий, инноваций, изменения корпоративной культуры. Наиболее распространенные зоны внедрения технологии Индустрии 4.0 – области IoT, искусственный интеллект. К первой группе высокого уровня цифровой готовности энергосектора относится Германия (4,06). Это обусловлено такими факторами, как внедрение государственной поддержки цифровой трансформации, Программа на 2008–2013 гг. – «Цифровая энергетика», в 2016 г. введен Федеральный закон «О цифровизации», с 2018 г. проходят дни инноваций, на которых представлены лучшие результаты цифровизации в энергетике. Уровень развития инфраструктуры оценивался через степень использования и реализации возобновляемой энергетики, уровень использования информационных и цифровых технологий, качество материаловедения и современности энергооборудования, внедрения энергосберегающих технологий, а также доля невозобновляемой энергетики. Лучшие позиции по этим показателям – у США и Канады, как и в нашем исследовании, так как высокий уровень инвестиций в энергосекторе, низкие значения износа энергетической инфраструктуры, соответственно, инвестиционный разрыв значительно больше по сравнению с российскими компаниями.

Заключение

В рамках данного исследования проведен анализ готовности стран к цифровизации энергетического сектора. Используемая аналитика позволила выявить основные предпосылки цифровизации энергетического сектора. Выделено

семь этапов цифровизации энергетики в России с указанием результирующих эффектов и содержательной составляющей цифровизации. Аналитика больших данных – один из инструментов цифровизации. Поэтому в работе представлены возможные экономические эффекты от использования данного инструмента в энергетике. Для разработки категориального аппарата исследуемой проблемы использованы основные критерии и подходы к содержанию цифровизации в энергетике с учетом исследований российских и зарубежных ученых. В работе определены пять основных направлений цифровизации, в том числе сквозные технологии. Всего выделено 18 инструментов и указано их практическое применение. При разработке методологических аспектов цифровизации в энергетике намечены несколько подходов к оценке цифровизации. Выделены пять групп показателей, которые, на наш взгляд, смогут дать реальную оценку готовности страны к цифровизации в энергетике; выделены соответствующие показатели, основанные на данных в открытой информации рейтинговых агентств и аналитических центров. На основе метода сравнения в статье представлены несколько подходов разных стран к внедрению цифровизации управления энергетикой. Кроме того, выделены факторы, способствующие или препятствующие развитию цифровизации в сфере энергетики. Современные тенденции преобразования реальных секторов экономики подчинены управлению производством технологий Индустрии 4.0.

Представленная аналитика также позволяет определить возможные результаты в энергетике при внедрении цифровизации в производственные процессы энергетической компании. Таким образом, дальнейшие исследования будут направлены на детальное рассмотрение и выделение внутренних и внешних факторов, которые обеспечат более высокий уровень готовности стран к цифровизации. Исследование позволило выявить страны-лидеры по уровню цифровизации в энергетике, что может положительно повлиять на страны с низким уровнем цифровизации, а также на разработку механизмов и инструментов цифровизации в отрасли.

Перспективы дальнейшего развития исследования заключаются в разработке методического инструментария стратегии цифрового развития стран с низким уровнем цифровизации в энергетике, проведением факторной цифровой аналитики способствующих развитию отрасли и построению прогноза на будущее.

Список литературы

1. Tutak M., Brodny J., Bindzár P. Assessing the level of energy and climate sustainability in the European Union countries in the context of the European green deal strategy and agenda 2030. *Energies*. 2021;14(6):1767. <https://doi.org/10.3390/en14061767>
2. Mohamued E.A., Ahmed M., Pyłacz P., Liczmańska-Kopcewicz K., Khan M.A. Global oil price and innovation for sustainability: the impact of R&D spending, oil price and oil price volatility on GHG emissions. *Energies*. 2021;14(6):1757. <https://doi.org/10.3390/en14061757>
3. Zhao F., Lee J., Bath A. Global wind report 2021. GWEC. URL: <https://gwec.net/global-wind-report-2021/> (дата обращения: 10.12.2021).
4. Информационный обзор «Единая энергетическая система России: промежуточные итоги» (оперативные данные). Системный оператор Единой Энергетической Системы. URL: https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/ups-review/2020/ups_review_0120.pdf (дата обращения: 10.10.2021).
5. Verma S.K., Singhal P., Chauhan D.S. A synergistic evaluation on application of solar-thermal energy in water purification: current scenario and future prospects. *Energy Conversion and Management*. 2019;180:372–390. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.10.090>
6. Jia T., Dai Y., Wang R. Refining energy sources in winemaking industry by using solar energy as alternatives for fossil fuels: A review and perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018;88:278–296. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.008>
7. Adami V.S., Valle J.A., Júnior A., Sellitto M.A. Regional industrial policy in the wind energy sector: the case of the State of Rio Grande do Sul, Brazil. *Energy Policy*. 2017;111(C):18–27. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.08.050>
8. Liu S.-Y., Ho Y.-F. Wind energy applications for Taiwan buildings: What are the challenges and strategies for small wind energy systems exploitation? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016;59(C):39–55. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.336>
9. Cong R.-G., Shen Sh. Relationships among energy price shocks, stock market, and the macroeconomy: evidence from China. *The Scientific World Journal*. 2013;171868. <https://doi.org/10.1155/2013/171868>
10. Novikova O., Vladimirov I., Bugaeva T. Expansion of the fuel and energy balance structure in Russia through the development of a closed-loop recycling. *Sustainability*. 2021;13(9):4965. <https://doi.org/10.3390/su13094965>
11. Konnikov E.A., Osipova K.V., Yudina N.A., Korsak E.P. The prevalence of renewable energy in the Russian energy market. In: *E3S Web Conf*. France: EDP Sciences. 2019;124(04018). 5 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912404018>
12. Bataev A., Potyarkin V., Glushkova A., Samorukov D. Assessment of development effectiveness of solar energy in Russia. In: *E3S Web Conf*. France: EDP Sciences. 2020;221(03002). 7 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022103002>
13. Robinson L., Cotten S.R., Ono H., Quan-Haase A., Mesch G., Chen W., Stern M.J. Digital inequalities and why they matter. *Information, Communication & Society*. 2015;18(5):569–582. <https://doi.org/10.1080/1369118X.2015.1012532>
14. Szedlak C., Leyendecker B., Reinemann H., Pötters P. Methodology for assessing digitalization readiness and maturity of small and medium-sized enterprises / eds. Z. Anisic, B. Lalic, D. Gracanin. In: *Lecture notes on multidisciplinary industrial engineering. Proc. on 25th Inter. Joint Conf. on Ind. Eng. and Oper. Manag.* – IJCIEM; 2019:101–111. https://doi.org/10.1007/978-3-030-43616-2_12
15. Среднесрочный прогноз социально-экономического развития Российской Федерации до 2023 года (Базовый вариант) / Министерство энергетики Российской Федерации. URL: <https://www.economy.gov.ru/material/file/a980ef0a8b14feb70ef864847e906f2f/32028-PK/D03i.pdf?ysclid=l789tz4bjt479199589> (дата обращения: 01.12.2021).
16. Майклмен П. Цифровизация: практические рекомендации по переводу бизнеса на цифровые технологии / пер. с англ. М.: Альпина Паблишер; 2019. 251 с.
17. Холкин Д.В., Чаусов И.С. Цифровой переход в энергетике России: в поисках смысла. *Энергетическая политика*. 2018;(5):7–16.
18. Obukhova A., Merzlyakova E., Ershova I., Karakulina K. Introduction of digital technologies in the enterprise. In: *E3S Web Conf*. France: EDP Sciences. 2020;159:04004. <https://doi.org/10.1051/3sconf/202015904004>
19. Кузнецов Д.А., Кормин Т.Г., Мосейчук Э.И., Васильев А.Н. Индустрия 5.0, ее отличия и точки соприкосновения с Индустрией 4.0. В сб.: *Наука – эффективный инструмент познания мира: Материалы междунар. науч.-практ. конф.* Саратов: ООО «Центр профессионального менеджмента «Академия бизнеса»; 2008:46–51.
20. Švecová L., Ostapenko G., Veber J., Valeeva Y. The implementation challenges of zero carbon and zero waste approaches. In: *E3S Web Conf*. France: EDP Sciences. 2019;124:04025. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912404025>
21. *Digitalization of the electricity system and customer participation. Technical position paper WG4 / European Technology & Innovation Platforms. Smart Networks for Energy Transition (ETIP SNET)*. September, 2018. URL: <https://smart-networks-energy-transition.ec.europa.eu/sites/default/files/publications/ETIP-SNET-Position-Paper-on-Digitalisation-FINAL-1.pdf> (дата обращения: 15.11.2021).

References

1. Tutak M., Brodny J., Bindzár P. Assessing the level of energy and climate sustainability in the European Union countries in the context of the European Green Deal strategy and agenda 2030. *Energies*. 2021;14(6):1767. <https://doi.org/10.3390/en14061767>
2. Mohamued E.A., Ahmed M., Pypłacz P., Liczmańska-Kopcewicz K., Khan M.A. Global oil price and innovation for sustainability: the impact of R&D spending, oil price and oil price volatility on GHG emissions. *Energies*. 2021;14(6):1757. <https://doi.org/10.3390/en14061757>
3. Zhao F., Lee J., Bath A. Global wind report 2021. GWEC. URL: <https://gwec.net/global-wind-report-2021/> (accessed on 10.12.2021).
4. Information review “Unified energy system of Russia: interim results” (operational data). System operator of the Unified Energy System. (In Russ.). URL: https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/ups-review/2020/ups_review_0120.pdf (accessed on 10.10.2021).
5. Verma S.K., Singhal P., Chauhan D.S. A synergistic evaluation on application of solar-thermal energy in water purification: current scenario and future prospects. *Energy Conversion and Management*. 2019;180:372–390. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.10.090>
6. Jia T., Dai Y., Wang R. Refining energy sources in winemaking industry by using solar energy as alternatives for fossil fuels: A review and perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018;88:278–296. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.008>
7. Adami V.S., Valle J.A., Júnior A., Sellitto M.A. Regional industrial policy in the wind energy sector: the case of the State of Rio Grande do Sul, Brazil. *Energy Policy*. 2017;111(C):18–27. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.08.050>
8. Liu S.-Y., Ho Y.-F. Wind energy applications for Taiwan buildings: What are the challenges and strategies for small wind energy systems exploitation? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016;59(C):39–55. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.336>
9. Cong R.-G., Shen Sh. Relationships among energy price shocks, stock market, and the macroeconomy: evidence from China. *The Scientific World Journal*. 2013;171868. <https://doi.org/10.1155/2013/171868>
10. Novikova O., Vladimirov I., Bugaeva T. Expansion of the fuel and energy balance structure in Russia through the development of a closed-loop recycling. *Sustainability*. 2021;13(9):4965. <https://doi.org/10.3390/su13094965>
11. Konnikov E.A., Osipova K.V., Yudina N.A., Korsak E.P. The prevalence of renewable energy in the Russian energy market. In: *E3S Web Conf*. France: EDP Sciences. 2019;124(04018). 5 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912404018>
12. Bataev A., Potyarkin V., Glushkova A., Samorukov D. Assessment of development effectiveness of solar energy in Russia. In: *E3S Web Conf*. France: EDP Sciences. 2020;221(03002). 7 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022103002>
13. Robinson L., Cotten S.R., Ono H., Quan-Haase A., Mesch G., Chen W., Stern M.J. Digital inequalities and why they matter. *Information, Communication & Society*. 2015;18(5):569–582. <https://doi.org/10.1080/1369118X.2015.1012532>
14. Anisic Z., Lalic B., Gracanin D., eds. Szedlak C., Leyendecker B., Reinemann H., Pötters P. Methodology for assessing digitalization readiness and maturity of small and medium-sized enterprises. In: *Proc. on 25th Inter. Joint Conf. on Ind. Eng. and Oper. Manag. – IJCIEM*; 2019:101–111. https://doi.org/10.1007/978-3-030-43616-2_12
15. Medium-term forecast of the socio-economic development of the Russian Federation until 2023 (Basic version) / Ministry of Energy of the Russian Federation. (In Russ.). URL: <https://www.economy.gov.ru/material/file/a980ef0a8b14feb70ef864847e906f2f/32028-PK/D03i.pdf?ysclid=l789tz4bjt479199589> (accessed on 01.12.2021).
16. Michaelman P. Digitization. Practical recommendations for the transition of business to digital technologies. USA, MC: The MIT Press; 2018. 252 p. (Russ. transl.: Maiklmen P. Tsifrovizatsiya: prakticheskie rekomendatsii po perevodu biznesa na tsifrovye tekhnologii. Moscow: Al’pina Publisher; 2018. 251 p.)
17. Kholkin D.V., Chausov I.S. Digital transition in the energy of Russia: In search of meaning. *Energeticheskaya Politika*. 2018;(5):7–16. (In Russ.)
18. Obukhova A., Merzlyakova E., Ershova I., Karakulina K. Introduction of digital technologies in the enterprise. In: *E3S Web Conf*. France: EDP Sciences. 2020;159:04004. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015904004>
19. Kuznetsov D.A., Kormin T.G., Moseichuk E.I., Vasiliev A.N. Industry 5.0, its differences and points of contact with Industry 4.0. In: *Science is an effective tool for understanding the world: Proc. of an Inter. Scient. and Pract. Conf*. Saratov: «Akademiya biznesa» Ltd. 2018:46–51. (In Russ.)
20. Švecová L., Ostapenko G., Veber J., Valeeva Y. The implementation challenges of zero carbon and zero waste approaches. In: *E3S Web Conf*. France: EDP Sciences. 2019 124:04025. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912404025>
21. *Digitalization of the electricity system and customer participation. Technical position paper WG4 / European Technology & Innovation Platforms. Smart Networks for Energy Transition (ETIP SNEP)*. September, 2018. URL: <https://smart-networks-energy-transition.ec.europa.eu/sites/default/files/publications/ETIP-SNET-Position-Paper-on-Digitalisation-FINAL-1.pdf> (accessed on 15.11.2021).

Информация об авторах

Ахметова Ирина Гареевна – д-р техн. наук, доцент, проректор по развитию и инновациям, заведующий кафедрой экономики и организация производства, Казанский государственный энергетический университет, 420066, Казань, ул. Красносельская, д. 51, Республика Татарстан, Российская Федерация; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7082-2005>; e-mail: irina_akhmetova@mail.ru

Валеева Юлия Сергеевна – канд. экон. наук, доцент, Казанский государственный энергетический университет, 420066, Казань, ул. Красносельская, д. 51, Республика Татарстан, Российская Федерация; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1356-0360>; e-mail: valis2000@mail.ru

Калинина Марина Владимировна – аспирант, Казанский государственный энергетический университет, 420066, Казань, ул. Красносельская, д. 51, Республика Татарстан, Российская Федерация; e-mail: esp_mvkalinina@mail.ru

Information about the authors

Irina G. Akhmetova – Dr.Sci. (Eng.), Vice-Rector for Development and Innovation, Head of the Department of Economics and Organization of Production, Kazan State Power Engineering University, 51 Krasnoselskaya Str., Kazan, 420066, Republic of Tatarstan, Russian Federation; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7082-2005>; e-mail: irina_akhmetova@mail.ru

Yulia S. Valeeva – PhD (Econ.), Associate Professor, Kazan State Power Engineering University, 51 Krasnoselskaya Str., Kazan 420066, Republic of Tatarstan, Russian Federation; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1356-0360>; e-mail: valis2000@mail.ru

Marina V. Kalinina – Postgraduate Student, Kazan State Power Engineering University, 51 Krasnoselskaya Str., Kazan 420066, Republic of Tatarstan, Russian Federation; e-mail: esp_mvkalinina@mail.ru

Поступила в редакцию 11.07.2022; поступила после доработки 07.09.2022; принята к публикации 15.09.2022
Received 11.07.2022; Revised 07.09.2022; Accepted 15.09.2022