

УДК 004.031.4 004.032.2

doi: 10.17586/2226-1494-2020-20-1-82-93

## АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ РОССИЙСКОЙ ЭКОНОМИКИ

Ан.Е. Мозохин<sup>a,b</sup>, Ал.Е. Мозохин<sup>c,b</sup>

<sup>a</sup> Филиал ПАО «МРСК Центра» – «Костромаэнерго», Кострома, 156961, Российская Федерация

<sup>b</sup> «Костромской государственный университет», Кострома, 156005, Российская Федерация

<sup>c</sup> Фабрика мебели «Ваш день», Кострома, 156025, Российская Федерация

Адрес для переписки: mozokhin@mail.ru

### Информация о статье

Поступила в редакцию 21.08.19, принята к печати 03.12.19

Язык статьи — русский

**Ссылка для цитирования:** Мозохин Ан.Е., Мозохин Ал.Е. Анализ перспективного развития энергетических систем в условиях цифровой трансформации Российской экономики // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2020. Т. 1. № 1. С. 82–93. doi: 10.17586/2226-1494-2020-20-1-82-93

### Аннотация

**Предмет исследования.** Определены причины перехода к цифровой энергетике и развития интеллектуальных электрических сетей. Проведено исследование влияния глобальных и локальных вызовов в рамках развития в России направлений цифровой энергетики и интеллектуальных электрических сетей на социально-экономическую, а также технологическую сферы страны. Произведена оценка практик, применяемых в развитых и развивающихся странах, по поддержке и стимулированию инновационной деятельности в разрезе государственной инновационной политики и частных инвестиций. **Метод.** Проведен сравнительный анализ мероприятий поддержки и стимулирования инновационной деятельности топливно-энергетического комплекса в рамках концепции цифровой трансформации экономики в США, Европейском Союзе, Азии и России. Дана экспертная оценка влияния глобальных вызовов в рамках выбранного направления исследования на социальную и технологическую сторону жизни российского общества. **Основные результаты.** Разработана модель оценки влияния глобальных вызовов на технологическое развитие в области цифровых технологий и интеллектуальной энергетики. Проведен анализ внутренних и внешних причин перехода к цифровой энергетике и развития интеллектуальных электрических сетей. Сопоставлены существующие и перспективные технологии цифровой трансформации электросетевого комплекса на перспективу до 2030 года, выделены передовые технологии и технологии-аутсайдеры. Выделены потенциальные точки роста отечественных и зарубежных электросетевых компаний в ближайшей и долгосрочной перспективе. Сгруппированы ключевые инструменты и меры поддержки инновационного бизнеса по степени их влияния на результат освоения цифровых технологий и интеллектуальных систем в энергетике. **Практическая значимость.** По итогам анализа лучших практик по внедрению цифровых технологий в энергетике, а также оценке результативности инструментов поддержки и стимулирования инновационной деятельности в отрасли, сформулированы рекомендации по проведению политики в области цифровой энергетики и интеллектуальных электрических сетей для Российской Федерации.

### Ключевые слова

цифровая энергетика, интеллектуальные электрические сети, прогноз энергетического развития, инновационная деятельность, цифровая трансформация

doi: 10.17586/2226-1494-2020-20-1-82-93

## PERSPECTIVE DEVELOPMENT OF ENERGY SYSTEMS IN CONDITIONS OF RUSSIAN ECONOMY DIGITAL TRANSFORMATION

An. E. Mozokhin<sup>a,b</sup>, Al. E. Mozokhin<sup>c,b</sup>

<sup>a</sup> IDGC Branch of Centre – Kostromaenergo, Kostroma, 156961, Russian Federation

<sup>b</sup> Kostroma State University, Kostroma, 156005, Russian Federation

<sup>c</sup> Furniture Factory “Your Day”, Kostroma, 156025, Russian Federation

Corresponding author: mozokhin@mail.ru

### Article info

Received 21.08.19, accepted 03.12.19

Article in Russian

**For citation:** Mozokhin An. E., Mozokhin Al. E. Perspective development of energy systems in conditions of Russian economy digital transformation. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2020, vol. 20, no. 1, pp. 82–93 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2020-20-1-82-93

### Abstract

**Subject of Research.** The paper presents the reasons for transition to digital energy and the development of intelligent electrical networks. We study the impact of global and local challenges in the framework of the development of digital energy areas and smart electric networks in Russia on the socio-economic and technological sectors of the country. The practices used in developed and developing countries are evaluated for support and stimulation of the state innovation policy and private investments. **Method.** Comparative analysis of measures was carried out for support and stimulation of innovative activities of the fuel and energy complex in the framework of economy digital transformation concept in the USA, the European Union, Asia and Russia. We gave an expert assessment of the impact of global challenges in the framework of the chosen research area on the Russian society social and technological side of life. **Main Results.** Evaluation model has been developed for assessing the impact of global challenges on technological development in the field of digital technologies and smart energy. Analysis of the internal and external causes of the transition to digital energy and the development of intelligent electrical networks is carried out. The existing and perspective technologies of digital transformation of the electric grid complex for the perspective until 2030 are compared; advanced and outsider technologies are highlighted. The potential growth points of domestic and foreign power grid companies in the near and long term are identified. Key tools and measures for support of innovative businesses are grouped by the degree of their impact on the implementation of digital technologies and smart systems in the energy sector. **Practical Relevance.** Recommendations are formulated on the implementation of policies in the field of digital energy and smart electric networks for the Russian Federation based on the analysis of the best practices for the introduction of digital technologies in the energy sector, as well as on evaluation of the effectiveness of tools for support and stimulation of innovative activity in the industry.

### Keywords

digital energy, smart electric networks, energy development forecast, innovation, digital transformation

## Введение

Современный мир диктует модернизированные пути развития. Одной из ярких тенденций, возникших вследствие нарастающих технологических, экологических, экономических и социальных вызовов к топливно-энергетическому и минерально-сырьевому комплексу, становится цифровая трансформация или цифровизация, в основе которой лежит редизайн форм бизнеса, ориентированный на цифровое представление данных [1]. Ранее в статье [2] был проведен анализ глобальных трендов цифровизации, присущих энергосистемам развитых и развивающихся стран, а также выполнена экспертная оценка результатов внедрения современных систем управления на объектах единой энергосистемы России. В продолжение исследования в области цифровой трансформации мировых энергосистем предлагается провести анализ внутренних и внешних причин перехода к цифровой энергетике и развития интеллектуальных электрических сетей, с целью разработки современной модели оценки влияния глобальных вызовов на социальную и технологическую сторону жизни российского общества. Требуется выработка рекомендаций по стимулированию инновационной деятельности компаний топливно-энергетического комплекса (ТЭК) в России.

Модернизации и развитию технологической составляющей энергетического сектора, а также трансформации энергетических рынков для создания конкурентоспособной экономики отвечают 5 из 17 целей устойчивого развития:

- обеспечение доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии;
- создание стойкой инфраструктуры, содействие обеспечению всеохватной и устойчивой индустриализации и инновациям;

— обеспечение открытости, безопасности, жизнестойкости и устойчивости городов и населенных пунктов;

— обеспечение перехода к рациональным моделям потребления и производства;

— принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями.

Электроэнергетика является системообразующей отраслью экономики, надежное и эффективное функционирование которой определяет экономическую и энергетическую безопасность страны. Однако наметившиеся в связи с необходимостью обеспечения целей устойчивого развития тенденции в мировой энергетике, называемые 3D: декарбонизация (decarbonization), децентрализация (decentralization) и цифровизация (digitalization), вызывают спрос на технологии, что, в свою очередь, приведет к цифровой трансформации отрасли и появлению интеллектуальных электрических сетей. В связи с этим актуальным является анализ перспективного развития энергетической системы в условиях цифровой трансформации, посредством оценки качественных и количественных характеристик технологий и вызванных ими изменений в энергетике Российской Федерации (РФ) на перспективу до 2030 года [3].

### Причины перехода к цифровой энергетике и интеллектуальным электрическим сетям

Появление цифровых производств, умных фабрик и высокотехнологичных пространств способно перевернуть подход к энергообеспечению потребителя, поскольку достичь устойчивости и надежности энергоснабжения, повысить пропускную способность электрических сетей, автоматизировать контроль над потреблением электроэнергии возможно только за счет

использования кардинально новых подходов, материалов и технологий. Фактически сетевая инфраструктура должна адаптироваться под требования клиента, которые продолжают расти ввиду ежегодного повышения спроса на электроэнергию [4].

Отсутствие развития научного и инновационного потенциала электросетевого комплекса может стать тормозом для индустриальной революции, именуемой в мире Индустрия 4.0. Интегрирующая роль сетевого комплекса становится жизненно необходимой для получения новых механизмов взаимодействия и запуска бизнес-процессов другого уровня с большим количе-

ством участников. Внутренние и внешние причины перехода к цифровой энергетике и развитию интеллектуальных электрических сетей представлены в табл. 1. Ряд обнаруженных причин носят глобальный характер, локальные причины обусловлены внутренними особенностями отечественного ТЭК. Очевидно, что ближайшие несколько лет энергетический сектор должен справиться с вопросами старения и износа инфраструктуры, обеспечения энергетической и экологической безопасности, а также стать гарантом устойчивого развития как основы удовлетворения потребностей будущих поколений.

Таблица 1. Причины зарождения перехода к цифровой энергетике и развития интеллектуальных электрических сетей

Экономические	Технологические
<p><i>Глобальные причины:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) урбанизация (рост городского населения РФ);</li> <li>2) инвестиционный разрыв в модернизации инфраструктуры ТЭК;</li> <li>3) новые бизнес-модели, основанные на парадигме «цифрового бизнеса» посредством одноранговых и прозрачных транзакций;</li> <li>4) сегментирование рынка по платежеспособному спросу;</li> <li>5) экономическая нестабильность.</li> </ol> <p><i>Локальные причины:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>6) зависимость стоимости, отпускаемой потребителям электроэнергии от цен на природный газ;</li> <li>7) недостаточность российского рынка сбыта для окупаемости высокотехнологичных инноваций и энергоэффективного оборудования;</li> <li>8) вызовы роста коммерческих потерь и неэффективности энергетических компаний;</li> <li>9) ежегодный рост тарифов на энергоресурсы и расходов населения на их оплату;</li> <li>10) низкая энергетическая эффективность экономики России;</li> <li>11) зависимость отрасли от иностранных технологий и оборудования.</li> </ol>	<p><i>Глобальные причины:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) увеличение спроса на надежное и качественное снабжение электроэнергией;</li> <li>2) рост электропотребления;</li> <li>3) развитие городов и городских агломераций;</li> <li>4) дефицит и профицит мощности электроэнергии;</li> <li>5) общий тренд на децентрализацию;</li> <li>6) развитие инновационных технологий, устройств и материалов;</li> <li>7) масштабное развитие распределенной энергетики и электротранспорта.</li> </ol> <p><i>Локальные причины:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>8) моральное устаревание инфраструктуры (износ ТЭК достигает 66 %) и логики развития энергосистемы;</li> <li>9) техническое состояние производственных фондов электроэнергетики (протяженные линии электропередачи, низкое потребление электроэнергии, существенная часть промышленной нагрузки);</li> <li>10) крупные неиспользуемые резервы электро мощностей, которые отражаются в росте тарифов;</li> <li>11) отсутствие наблюдаемости сетевых объектов и режимов работы.</li> </ol>
Экологические	Правовые
<p><i>Глобальные причины:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) снижение удельного веса инвестиций на охрану окружающей среды;</li> <li>2) необходимость в электрофицированном транспорте. Загрязнение воздуха: выхлопные газы автомобилей (90 % среди всех источников загрязнений);</li> <li>3) рост выбросов парниковых газов;</li> <li>4) международная и национальная политика поощряют декарбонизацию (общий тренд на декарбонизацию).</li> </ol> <p><i>Локальные причины:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>5) электроэнергетика является источником 42 % антропогенных выбросов парниковых газов;</li> <li>6) увеличение рисков возникновения аварий к 2030 г. до 80 % по причине ухудшения технического состояния оборудования из-за недостаточности капиталовложений;</li> <li>7) более 42 природных катаклизмов, которые произошли на территории России за 2018 год;</li> <li>8) необходимость стимулирования и учета использования вторичных ресурсов.</li> </ol>	<p><i>Глобальные причины:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) объединения усилий всех заинтересованных сторон, а именно отраслевого бизнес-сообщества, органов власти, научно-исследовательских организаций и образовательных учреждений;</li> <li>2) дефицит системных мер по стимулированию коммерциализации инноваций в компаниях ТЭК;</li> <li>3) необходимость внесения поправок в законы в связи с появлением новых субъектов (просьюмеров, активных потребителей, агрегаторов), регулировать отношения между ними, стандартизировать интерфейсы взаимодействия с Единой энергетической системой.</li> </ol> <p><i>Локальные причины:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>4) необходимость снижения сроков технологического присоединения к сетям электроснабжения;</li> <li>5) необходимость мгновенных откликов на неисполнение обязательств участниками рынка;</li> <li>6) необходимость стимулирования повышения энергоэффективности и энергосбережения.</li> </ol>

Локальные причины, свойственные энергетике РФ, усиливающееся давление глобальных причин и происходящие изменения на стороне потребителя во всем мире диктуют неизбежную необходимость трансформаций в отрасли и переход к концепции интеллектуальных электрических сетей.

**Анализ влияния глобальных и локальных вызовов на социально-экономическую и технологическую сферы страны, в рамках развития в России направлений цифровой энергетики и интеллектуальных электрических сетей**

Для оценки технологических изменений в выбранном направлении сформирована модель влияния глобальных вызовов с учетом сценарных условий на свойства интеллектуальной энергетической системы через технологическую и социально-экономическую сферу, тренды, типы трансформаций и технологии. Проанализированные технологии определяют пять основных свойств цифровой интеллектуальной энергетической системы: адаптивность, экологичность, экономичность, энергобезопасность, энергоэффективность. Для всех технологий путем экспертных оценок установлена количественная взаимосвязь с вызовами для определения взаимного влияния при моделировании и прогнозе (рис. 1).

С целью учета в модели неравномерности проникновения технологий на российский рынок, а также для учета временного промежутка между научным открытием и массовым внедрением технологии была составлена диаграмма цикла зрелости технологий на 2019 год (рис. 2).

На рис. 2 представлены 45 основных технологий, которые позволят осуществить переход к цифровой интеллектуальной энергетике. Диаграмма цикла зрелости технологий позволяет оценить их положение и установить тем самым коэффициент временного запаздывания между научным открытием и массовым внедрением. Среди всех представленных технологий определены аутсайдеры — технологии в России, кото-

рые наиболее вероятно не будут применяться в новых прорывных разработках в ближайшее время, например, HVDC (линии постоянного тока), FACTS (гибкая система передачи переменного тока), Autonomous things (автономные вещи); и наоборот, востребованные технологии на данный момент в России — 5G связь, накопители, кибербезопасность, технология Plug&Play. В результате анализа технологий был сделан вывод, что мир своевременно реагирует на влияние глобальных вызовов. Необходимость цифрового перехода обостряется риском остаться в роли отстающей экономики в условиях продолжающейся трансформации и развития мира.

С целью прогноза развития цифровой энергетики и интеллектуальных электрических сетей с перспективой до 2030 года были разработаны сценарные условия, на основании которых осуществлялось прогнозирование.

Выделены три сценария развития: инерционный, негативный и позитивный.

1. Инерционный сценарий определяется общемировой динамикой последних пяти лет, основной прогноз в этом сценарии формируется посредством линейной экстраполяции данных предыдущих периодов.

2. Негативный сценарий связан с ухудшением политической обостренности, нарастанием кризисных явлений, вызванных высокой волатильностью цен на энергетические ресурсы и общим трендом на снижение их стоимости, как следствие, истощение запасов на действующих месторождениях углеводородов и невозможность инвестировать в масштабные проекты по освоению новых месторождений дополнительно усилят энергетический голод и вызовут снижение поставок продовольствия и воды. Все эти негативные вызовы приведут к ускорению децентрализации мира, делению его на экономико-технологические зоны с выделением центров притяжения, что приведет к значительному снижению мировой торговли как в физическом, так и в денежном выражении.

3. Позитивный сценарий связан с глобализацией мира и запуском масштабных национальных инфраструктурных и энергетических проектов, что приведет к увеличению мировой торговли, произойдет значи-

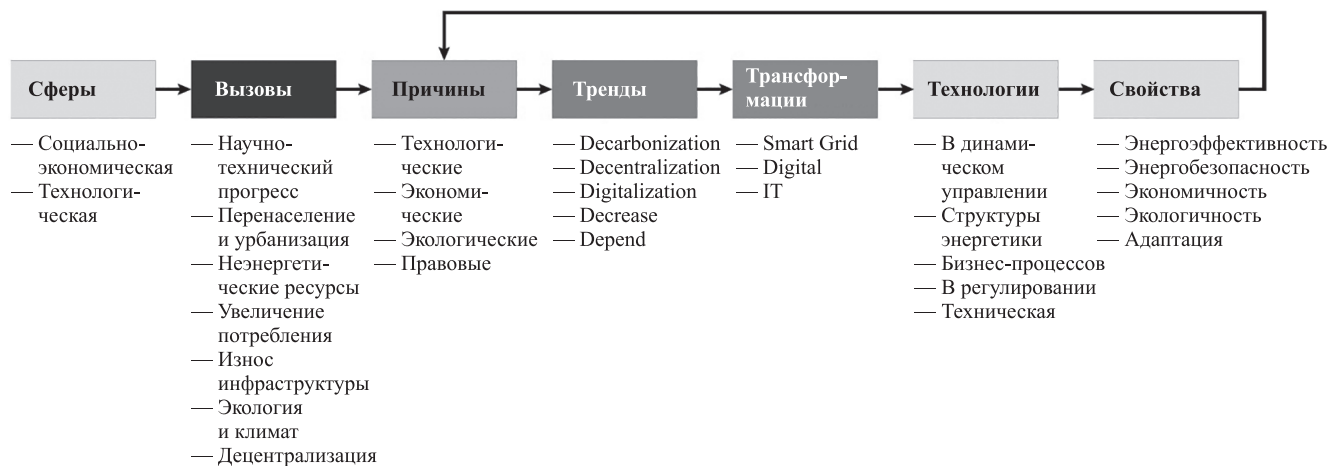


Рис. 1. Модель оценки влияния глобальных вызовов на технологическое развитие в области цифровых технологий и интеллектуальной энергетики

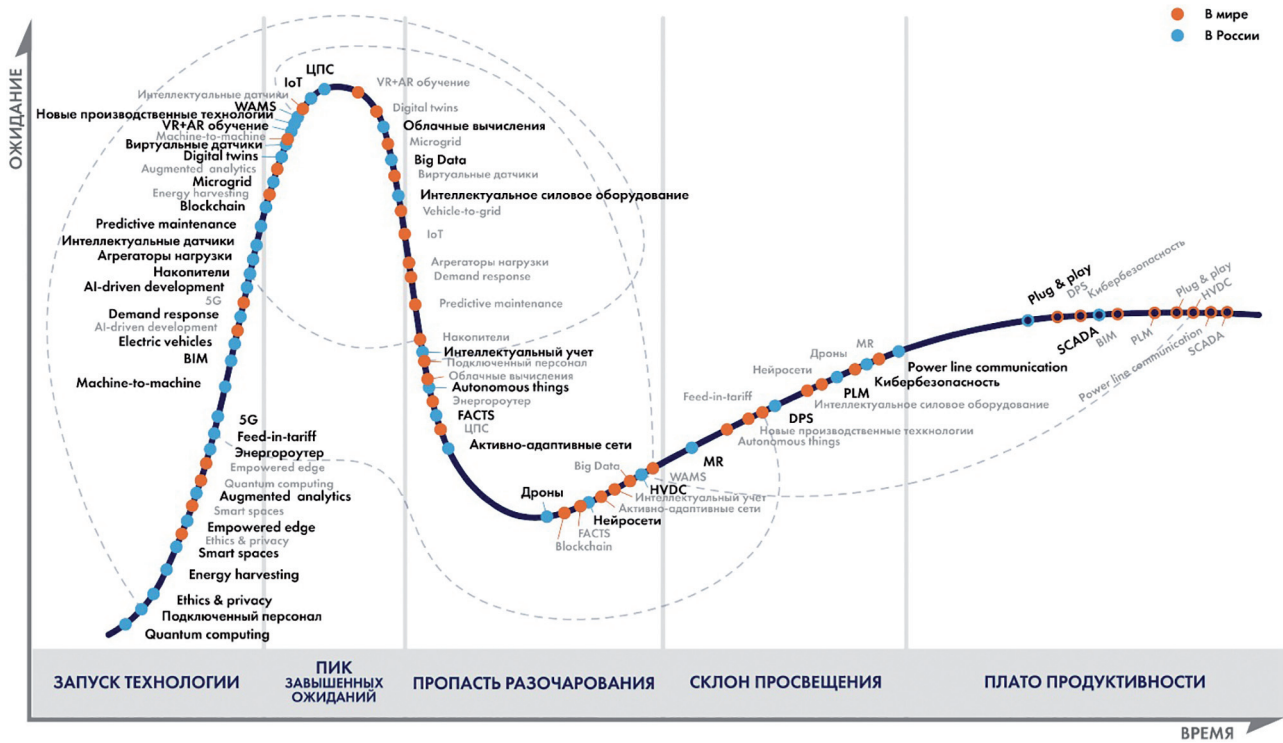


Рис. 2. Оценка зрелости технологий в России и мире в 2019 году, где ЦПС — цифровая подстанция; IoT (Internet of Things — интернет вещей); WAMS-система (Wide Area Measurement System — система мониторинга переходных режимов); VR (Virtual Reality — виртуальная реальность); AR (Augmented Reality — дополненная реальность); MR (Mixed Reality — смешанная реальность); BIM (Building Information Modeling — информационное моделирование зданий); DPS (Digital Pixel System — цифровая система пикселей); PLM (Product Lifecycle Management — управление жизненным циклом изделий); SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерское управление и сбор данных)

тельное обновление основных фондов в энергетике и сетевой инфраструктуре. Вследствие умеренно высоких цен на углеводороды возрастут инвестиции в поиск и разработку новых месторождений труднодоступных, тяжело извлекаемых энергоресурсов, увеличится спрос на новые технологии и оборудование, включая сектор возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Сценарные условия представлены на рис. 3. Характеристика вызова — «степень влияния» по оси абсцисс отражает силу воздействия между вызовами, а «скорость» по оси ординат показывает ускорение или торможение развития технологий выбранного направления под действием конкретного вызова в определенном сценарии, а силу этого воздействия отражают размеры

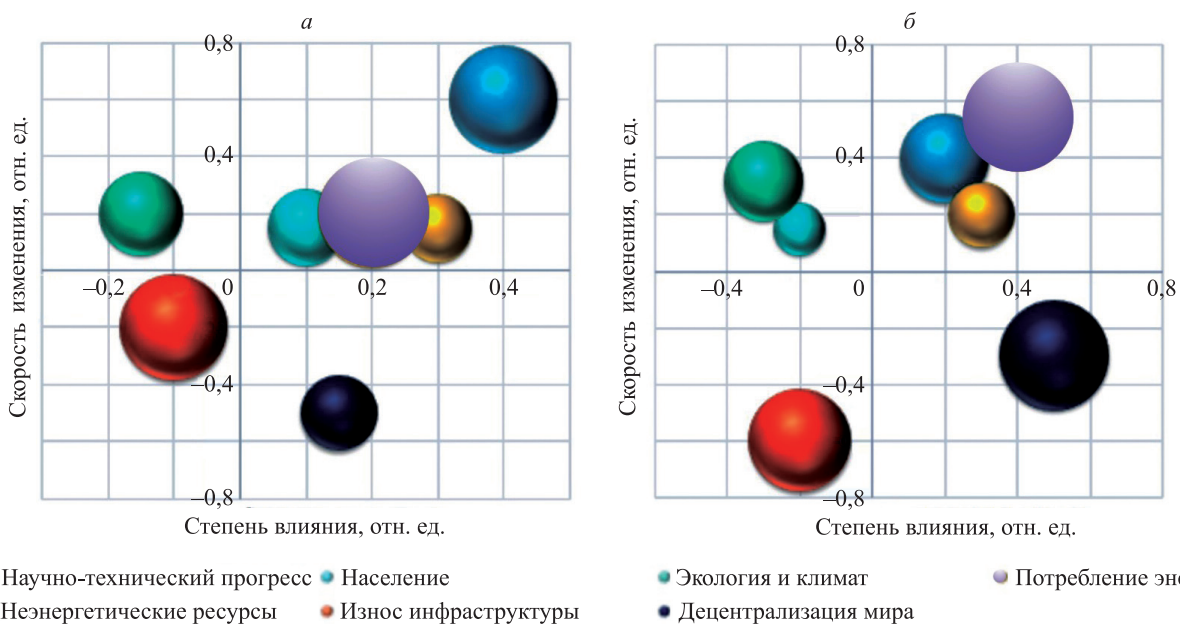


Рис. 3. Сценарии влияния между вызовами: негативный сценарий (а); позитивный сценарий (б)

сфер. Данные сценарные условия в форме весовых коэффициентов использованы в модели прогнозирования.

Рассмотрим подробнее влияние выделенных вызовов на социально-экономическую и технологическую сферу России.

1. Экология и климат. Ухудшение экологии и изменение климата непосредственно связано с глобальными вызовами человечества: децентрализация мира, перенаселение и урбанизация влекут за собой увеличение потребления, износ инфраструктуры и истощение ресурсов как энергетических, так и неэнергетических. Влияние на социально-экономическую сферу РФ может быть связано с введением налогов за использование продуктов и видов топлива, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду; создание системы квот на выбросы как промышленных, так и бытовых отходов; финансирование программ энергосбережения, энергоэффективности, проектов развития возобновляемой и безуглеродной энергетики, побуждение населения к сортировке, переработке, вторичному использованию бытовых отходов, рациональному пользованию неэнергетических ресурсов. На рис. 4 представлена динамика изменения доли ВИЭ и выбросов CO<sub>2</sub> при различных сценариях энергетического развития.

Влияние на технологическую сферу РФ подтверждается докладом об экологической ситуации в стране Минприроды России, что в 138 городах РФ уровень загрязнения характеризуется как «высокий» или «очень высокий». Появляется необходимость увеличения доли ВИЭ, внедрение энергоэффективного оборудования, образование активных потребителей.

2. Перенаселение и урбанизация. По данным ООН к 2030 г. население Земли вырастет до 8,4 млрд. К 2050 г. людей будет уже 9,7 млрд, а к 2100 г. их станет 11,2 млрд человек. Свыше 70 % мирового населения к 2050 г. окажется в городах и агломерациях, которых будет около 600, что будет способствовать экономическому росту, однако создаст дополнительные сложности с водными, энергетическими и продовольственными ре-

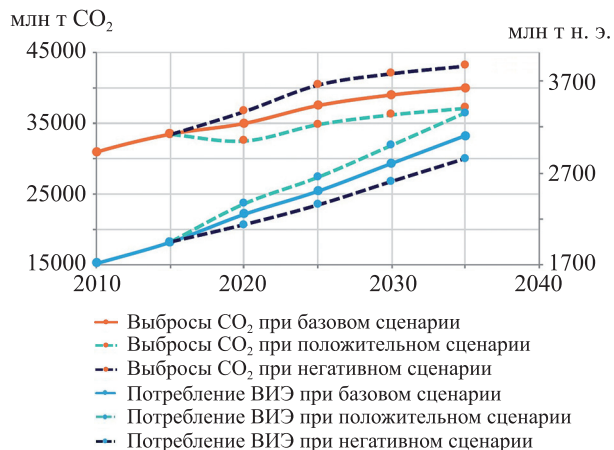


Рис. 4. Динамика изменения доли возобновляемых источников энергии и выбросов CO<sub>2</sub>, где т н. э. — тонна нефтяного эквивалента [5]

сурсами<sup>1</sup>. Перечисленные тенденции обеспечивают структурный сдвиг в энергетике в пользу увеличения доли электроэнергетики, связанный со следующими характеристиками вызова:

— адаптация пожилого населения к эпохе цифровых технологий;

— с увеличением городского населения вырастет потребность в электроэнергии;

— необходимость создания независимых энергосетевых систем, имеющих собственные источники генерации и способных решать задачу по удовлетворению спроса потребления энергии при максимуме нагрузок, когда основная сеть не справляется (MicroGrid).

Цифровое развитие ТЭК России создаст условия для контроля роста цен на электроэнергию путем более эффективного использования генерирующих и сетевых мощностей, снижения потерь энергии, что позволит улучшить качество жизни населения.

3. Износ инфраструктуры. Проблема износа энергетического оборудования является для нашей страны одним из главных внутренних вызовов электроэнергетической отрасли. Состояние основных фондов РФ находится в критическом состоянии и в 2019 году приближается к 68 % [6]. Основной причиной износа основных фондов является недофинансирование программ реновации инфраструктуры. Инвестиции в инфраструктуру, а также уровень ее изношенности в России и мире на перспективу 2019–2035 гг. представлены на рис. 5. Так, инвестиции в российскую инфраструктуру в 2019 г. составили 2,2 трлн рублей при необходимых вложениях 3,3 трлн руб. При этом текущий профицит генерирующих мощностей при массовом выбытии генерирующего оборудования может быть исчерпан уже к 2025 г. [7]. С учетом заявленных планов по развитию атомной, тепловой, гидро- и возобновляемой генерации дефицит к 2030 г. может составить 47–70 ГВт, а к 2035 г. — 54–97 ГВт<sup>2</sup>. Прогнозируемый дефицит может быть закрыт модернизацией существующих электростанций и строительством новых объектов генерации. Кроме того, это окно для развития в России распределенной генерации.

Влияние на социально-экономическую сферу РФ связано с заказами на поставку энергетического оборудования и развитием энергетической и энергомашиностроительной отраслей: обеспечение трудовой занятости и финансовой стабильности населения; увеличение доходов от экспорта электроэнергии ввиду роста тарифов; сокращение расходов на социально-экономическую сферу ввиду необходимости инвестирования в электроэнергетику.

Влияние на технологическую сферу РФ связано с совершенствованием технологий в энергетическом машиностроении; внедрением новых интеллектуаль-

<sup>1</sup> Энергетика и промышленность России [Электронный ресурс] // Энергетический прогноз компании Exxonmobil до 2040 года. Режим доступа: <https://rgk-palur.ru/energetica-prognoz-exxonmobil-2040/> (дата обращения: 14.10.2019).

<sup>2</sup> Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2035 года [Электронный ресурс] // Министерство Энергетики РФ. Режим доступа: <http://government.ru/docs/28131/> (дата обращения: 14.10.2019).

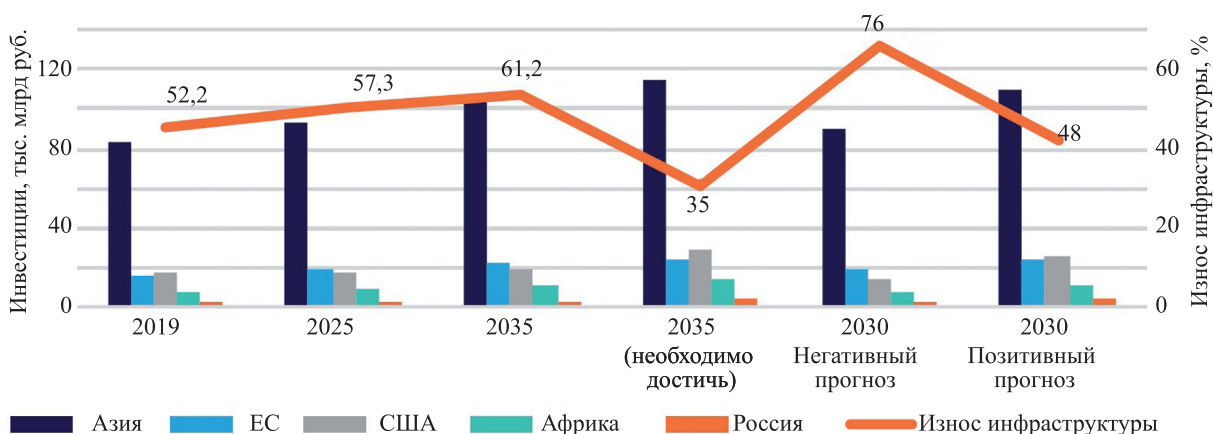


Рис. 5. Инвестиции в инфраструктуру и уровень изношенности на 2019–2035 гг.<sup>1</sup>, где ЕС — Европейский Союз

ных технологий: цифровизация, технологии передачи и распределения FACTS, системы учета и др.; обновлением структуры энергетического сектора: переход к активно-адаптивным сетям, уход от архитектуры централизованных систем с переходом к децентрализации.

4. Научно-технический прогресс (НТП). Цифровизация как один из главных факторов мирового экономического роста уже сформировалась в отдельное направление НТП с последующей возможностью выделения в отдельный общемировой вызов на рубеже 2022–2025 гг. Влияние НТП на современное производство приводит к увеличению ценности новых знаний, а значит, и росту спроса на них крупных промышленных компаний (рис. 6).

Влияние на социально-экономическую сферу РФ в рамках «Индустрии 4.0» заключается в ключевой роли человека, которая будет только увеличиваться.

Образование сталкивается с вызовом перестройки процесса обучения, направленное на персонализацию и гибкость программ подготовки кадров. Появятся такие профессии как менеджер по модернизации систем энергогенерации, проектант систем рекуперации, проектировщик энергонакопителей, системный инженер интеллектуальных энергосетей и др.

5. Увеличение потребления. Согласно прогнозам развития мировой энергетики до 2040 года, все большее количество стран заинтересовано в повышении энергоэффективности, увеличении использования возобновляемых источников энергии, экологически чистых и энергосберегающих технологий. Основной спрос на энергоресурсы обеспечат страны Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР). Согласно оценкам международных энергетических агентств рост добычи нефти сосредоточился в 9 нефтедобывающих странах,

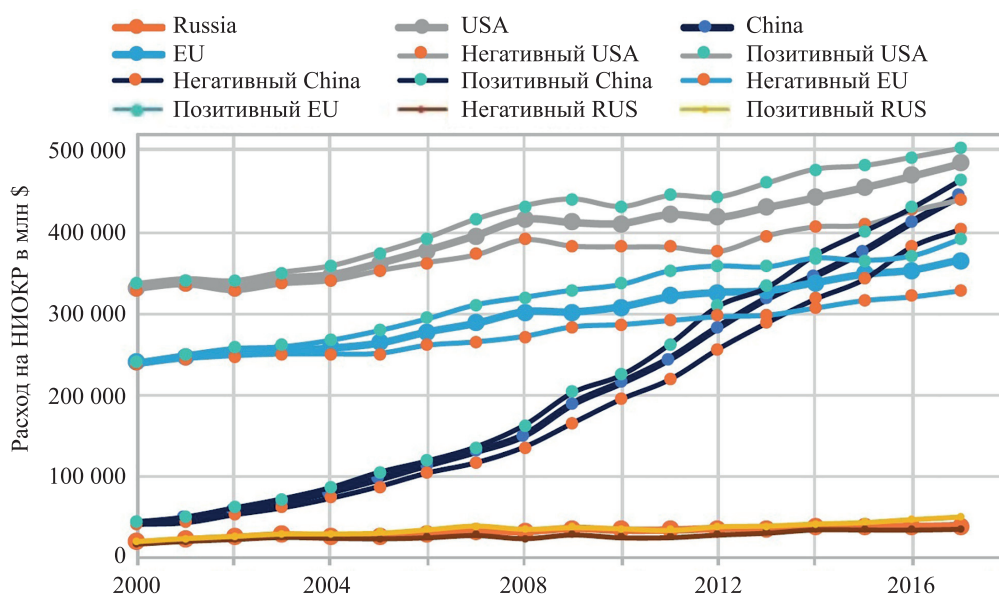


Рис. 6. Расходы на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, где EU (Europese Unie — Европейский Союз) [8]

<sup>1</sup> International Energy Agency [Electronic resource] // International energy outlook 2017. Режим доступа: <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484%282017%29.pdf> (дата обращения: 14.10.2019).

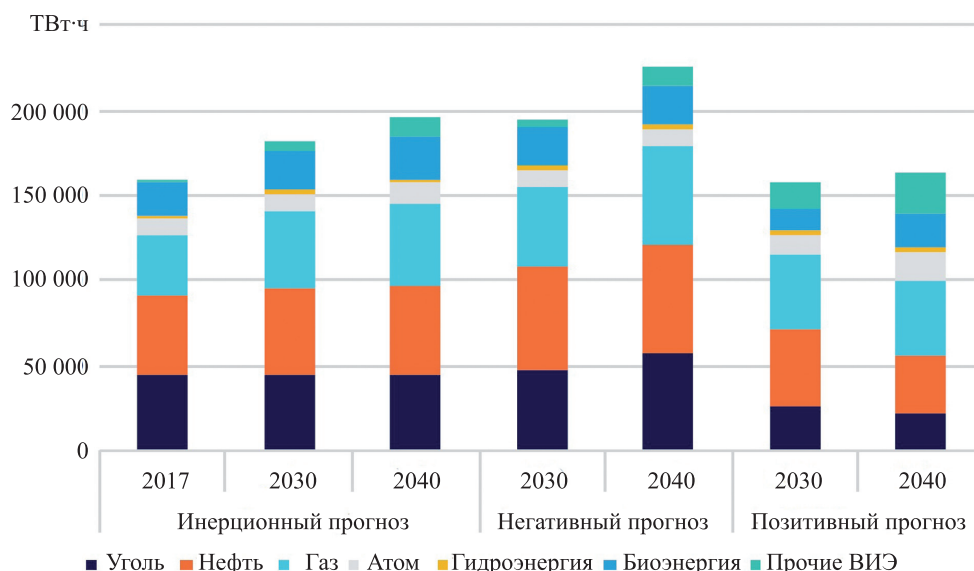


Рис. 7. Динамика первичного потребления электроэнергии [9]

рост добычи природного газа в 10 странах, а рост производства угля возможен лишь в четырех странах, в то время как оставшийся мир в целом прошел пик добычи по этим ресурсам. Анализ потребления главных мировых ресурсов представлен на рис. 7.

Влияние на социально-экономическую сферу состоит в том, что:

- все страны заинтересованы в эффективной поставке сырья в страны АТР. Для энергетики России главным вызовом будет ужесточенная конкурентная борьба за удержание и наращивание позиций на ключевых традиционных и новых энергетических рынках. Таким образом, прослеживается зависимость данного вызова от политической ситуации в мире;

- вызов растущей неэффективности российской электроэнергетической системы. Увеличение внутреннего спроса на электроэнергию и «наращивание» мощностей будет невозможным без реконструкции сетевых мощностей, без должного рационального использования, что приведет к росту тарифов и цен на электроэнергию для потребителей. Таким образом, это может стать сдерживающим фактором для развития экономики;

- увеличение потребления энергии ведет к непосредственному росту использования и твердого топлива, из-за чего ухудшается экологическая обстановка страны и усиливается негативное влияние на здоровье людей. Это сказывается не только на качестве жизни людей, но и на уровне расходов государства.

Влияние на технологическую сферу:

- увеличение потребления ресурсов вызывает необходимость в рациональном использовании не только первичных ресурсов, но и электроэнергии;

- увеличение потребления сопровождается повышенным требованием к качеству электроэнергии, так как устаревшие технологии не способны значительно повысить свою эффективность, и как следствие, удовлетворять новым требованиям потребителей без роста стоимости электроэнергии.

Модель, предложенная в данном разделе, позволяет, учитывая существующую оценку и анализ глобальных

вызовов, производить прогностическую оценку спроса на технологические направления, которые в ближайшем десятилетии будут основными для устранения проблем энергетического комплекса. В исследовании представлена оценка влияния перспективных технологий, используемых сейчас и в перспективе до 2030 г., на пять свойств — адаптивность, экологичность, экономичность, энергоэффективность, энергобезопасность, характеризующих энергосистемы в целом на 2018 и на 2030 г. Оценка ключевых свойств ТЭК России при различных сценарных условиях представлена на рис. 8.

Два свойства энергосистемы требуют улучшения в обоих представленных сценариях — это адаптивность и эффективность. Свойство адаптивности в значительной мере характеризует возможность самоорганизации, самовосстановления сети энергоснабжения, возможность использовать различные ресурсы для производства энергии, а также способность оптимизировать и перераспределять потребление и выработку различных видов энергии. Данное свойство является ключевым, поскольку определяет возможность интеграции различных видов энергоресурсов и средств распределенной генерации. Цифровая сеть позволит наблюдать и контролировать части системы при более высоком разрешении во времени и пространстве. Одна из целей интеллектуальной сети — обмен информацией в реальном времени, чтобы сделать работу максимально эффективной с точки зрения удельных затрат на производство, передачу и потребление энергии. Исследование показало, что значительный спрос будет в области технологий, влияющих на свойства адаптивности и эффективности<sup>1</sup>.

Вторая группа свойств, спрос на которые увеличивается в позитивном сценарии — это экологичность и эко-

<sup>1</sup> Программа инновационного развития ПАО «Россети» на период 2016–2020 гг. с перспективой до 2025 г. // ПАО «Российские сети». Режим доступа: [https://www.rosseti.ru/investment/policy\\_innovation\\_development/doc/innovation\\_program.pdf](https://www.rosseti.ru/investment/policy_innovation_development/doc/innovation_program.pdf) (дата обращения: 14.10.2019).



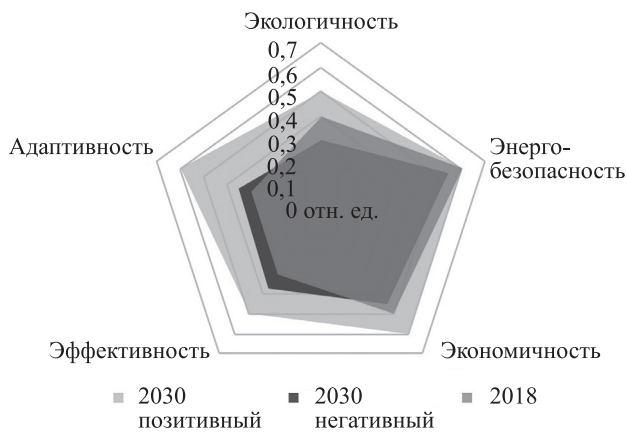


Рис. 8. Оценка ключевых свойств топливно-энергетического комплекса России при различных сценарных условиях

номичность. Данные свойства определяют направление декарбонизации, уменьшение нагрузки на окружающую среду при добыче, переработке, транспортировке и использовании минерально-сырьевых ресурсов, снижение затрат на энергоресурсы, сокращение степени истощения запасов полезных ископаемых, модернизацию энергетической инфраструктуры и снижение стоимости владения, уменьшение скорости старения основных фондов, расширение тарифных меню и др.

### Инструменты поддержки энергетической политики

В настоящее время инструменты стимулирования и поддержки инновационной деятельности государством широко развиты в крупных промышленных странах. Для них существует общая черта – инновационная политика технологического развития.

Анализируя зарубежный опыт [10–15] по поддержке инновационной деятельности в энергетике, можно выделить главные инструменты стимулирования инновационных процессов по развитию стран со стороны государства: финансирование напрямую; гранты; патентование зарубежных образцов и изобретений; освобождение от налогов на прибыль, направленную на инновационную деятельность; создание технополисов, производственных кластеров и технопарков; снижение налогов на имущество и землю для научно-технических организаций; уменьшение налогооблагаемой прибыли, получаемой за счет использования изобретений; поручительство перед кредиторами и инвесторами по обязательствам субъектов инновационной деятельности; исключение средств ВУЗов и научных организаций из числа налогооблагаемых доходов. В табл. 2 представлен сравнительный анализ мер поддержки и стимулирования инновационной деятельности в Европе, США, Азии и России.

Таблица 2. Сравнительный анализ мер поддержки и стимулирования инновационной деятельности топливно-энергетического комплекса

Меры поддержки и стимулирования	Европа	США	Россия	Азия
Государственные научно-исследовательские институты как участники коммерческих инновационных компаний	да	да	нет	нет
Создание совместных предприятий научными институтами и бизнес-структурами	да	да	нет	да
Создание организаций-посредников между бизнесом и авторами инноваций	да	да	нет	да
Поддержка технопарков и технологических инкубаторов	да	да	да	да
Создания специальных инновационных зон: технико-внедренческие зоны; промышленно-производственные зоны; зоны услуг; комплексные зоны; зоны свободной торговли	да	да	нет	нет
Создание инновационных центров и агентств по распространению технологий	да	да	да	да
Создание особого фонда по поощрению инноваций	да	да	нет	нет
Финансирование напрямую инновационных предприятий (выделение грантов, выделение средств на особых льготных условиях, другие программы по финансированию)	да	да	да	да
Финансовая поддержка венчурных предприятий в инновационных сферах	да	да	нет	да
Стимулирование патентования	да	да	нет	да
Поощрение малого наукоемкого бизнеса	да	да	нет	да
Налоговые льготы инновационным предприятиям	да	да	да	да
Информационная и методическая поддержка участников инновационной деятельности	да	да	нет	да
Материальная поддержка авторов-изобретателей через дополнительные выплаты при коммерциализации работ	да	да	нет	да

Упомянутые в табл. 2 механизмы частично реализуются на территории РФ и преимущественно выражаются в методах прямого воздействия<sup>1</sup>. Однако для более продуктивной адаптации методик поддержки и стимулирования развития энергетической отрасли в целом и электросетевого комплекса в частности, прежде всего, необходимы корректировки и дополнения федеральной нормативно-правовой базы, предполагающие детальный регламент взаимоотношений субъектов инновационной деятельности, представителей электросетевого холдинга, а также Правительства РФ в части выполнения конкретных мероприятий, сроков их проведения, объемов финансирования, льгот. Таким образом, проблема реализации инновационной политики в энергетике РФ связана с отсутствием эффективной научно-исследовательской системы, способной обеспечить продуктивное взаимодействие всех заинтересованных сторон: фундаментальной науки, бизнес-сообщества, государства.

В качестве рекомендаций для улучшения текущей ситуации в энергетической отрасли России следует отметить необходимость:

— разработки программных документов и стратегий в области развития ТЭК, направленных на формирование институциональной среды и инфраструктуры для поддержки цифровизации экономики на базе профильных государственных организаций с учетом обеспечения кибербезопасности;

— создания и развития института экспертов в области формирования инновационных систем, готовых вести проекты цифровизации, включая оценку цифровой готовности отрасли или данной конкретной компании, разработку стратегии цифровизации и программ по введению, обеспечению финансирования и контроль реализации;

— привлечения и сохранения высококвалифицированных специалистов для успешной трансформации и работы ТЭК;

— оптимизации и развития механизма по выделению средств из федерального бюджета и бюджета субъектов России;

— укрепления международного сотрудничества в энергетической сфере;

— перехода на цифровые технологии в сфере строительства и использования объектов энергетики;

— формирования цифровых моделей объектов энергетики для обеспечения максимальной безопасности и эффективности при эксплуатации.

## Заключение

Цифровая трансформация не может затрагивать только одну область энергетики или сферу услуг, она должна охватить множественные компоненты существующей структуры энергетики и электрических сетей и преобразовать ее в инновационный драйвер, способный дать толчок для развития качества жизни, повышению энергоэффективности производства, увеличения валового внутреннего продукта.

Перспективное развитие энергетической отрасли является актуальным, поскольку многие важные проблемы, стоящие перед обществом, связаны именно с наличием, разработкой и использованием энергетических ресурсов. Оценка доступности энергии и минеральных источников, высокий уровень технологической составляющей, развитие прикладных цифровых технологий с помощью научно-образовательных центров и международных центров компетенций помогут принимать обоснованные решения в отношении этих ресурсов. Таким образом, вариант цифрового развития топливно-энергетического комплекса России способствует сдерживанию роста цен на электроэнергию путем повышения эффективности использования генерирующих и сетевых мощностей, сокращения потребности в новых мощностях, снижения потерь энергии, возникновения новых рынков, в том числе и для пользователей. Это позволит улучшить качество жизни населения и перейти к более развитому обществу и процветающей экономике как основе устойчивого развития.

Если учесть мировой опыт, можно сделать вывод, что Россия в целом демонстрирует высокий уровень цифровизации, однако уступает в развитии цифрового сектора, который включает в себя сектор информационно-телекоммуникационных технологий, сектор цифрового контента. Причиной этого стоит считать высокий процент присутствия государства в цифровом секторе и низкий уровень использования цифровых технологий населением и бизнесом, а также предпочтение компаний использования в своей деятельности иностранных юрисдикций. Эффект возможно достичь только в условиях системной работы в расширении как технологий, так и правового поля, только синергетический подход способен в оптимальные временные рамки достичь сценарной ситуации, продемонстрированной в позитивном прогнозе.

<sup>1</sup> Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» // Портал Правительства РФ Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHj4PsB79I5v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf>. (дата обращения: 14.10.2019).

## Литература

## References

1. Вызовы электросетевого комплекса и способы их преодоления. Стратегическая сессия ПАО «МРСК Центра» и ПАО «МРСК Центра и Приволжья». 2018. 19 с.
2. Мозохин А.Е., Шведенко В.Н. Анализ направлений развития цифровизации отечественных и зарубежных энергетических систем // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2019. Т. 19. № 4. С. 657–672. doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-4-657-672
3. Цифровой переход в электроэнергетике России: Экспертно-аналитический доклад от 13.09.2017. Центр стратегических разработок, 2017. 47 с. [Электронный ресурс]. URL: [https://csr.ru/wp-content/uploads/2017/09/Doklad\\_energetika-Web.pdf](https://csr.ru/wp-content/uploads/2017/09/Doklad_energetika-Web.pdf) (дата обращения: 14.10.2019).
4. Oil and Gas Journal Russia. Мировое потребление энергии возрастет к 2035 году на 41% - ВР [Электронный ресурс]. URL: <http://ogjruussia.com/news/view/mirovoe-potreblenie-energii-vozzrastet-k-2035-godu-na-41-bp> (дата обращения: 14.10.2019).
5. Стратегия-2020: Новая модель роста – новая социальная политика. Итоговый доклад о результатах экспертной работы по актуальным проблемам социально-экономической стратегии России на период до 2020 года. Книга 1 / под науч. ред. В.А. Мау, Я.И. Кузьмина. М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2013. 430 с.
6. Арефьев Н.В. Развитие инфраструктуры в России на современном этапе // Информационно-аналитическое издание «Инфраструктура России». Т. 2. 2013 [Электронный ресурс]. URL: <http://federalbook.ru/files/Infrastruktura/Soderjaniye/Tom-2/III/Arefyev.pdf> (дата обращения: 14.10.2019).
7. Роль микрогенерации на основе ВИЭ в развитии распределенной энергетики России. Московская школа управления «Сколково». 2017 [Электронный ресурс]. URL: [https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/News/SKOLKOVO\\_EneC\\_2017.11.01\\_Khokhlov.pdf](https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/News/SKOLKOVO_EneC_2017.11.01_Khokhlov.pdf) (дата обращения: 14.10.2019).
8. Абакумова К.Н. Современные тенденции развития науки и инновационной деятельности // Современные тенденции в образовании и науке: сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. Ч. 10. Тамбов, 2014. С. 8–10.
9. Новые энергетические прогнозы // Энергетический бюллетень. 2018. № 66 [Электронный ресурс]. URL: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/19857.pdf> (дата обращения: 14.10.2019).
10. Механизм стратегического планирования в реализации концепции Smart Grid [Электронный ресурс]. URL: <https://docplayer.ru/34232951-Mehанизm-strategicheskogo-planirovaniya-v-realizacii-konceptcii-smart-grid.html> (дата обращения: 14.10.2019).
11. Кобеи Б.Б., Волкова И.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid [Электронный ресурс]. URL: [https://www.hse.ru/data/2013/01/23/1306487070/SmartGrid\\_monografia.pdf](https://www.hse.ru/data/2013/01/23/1306487070/SmartGrid_monografia.pdf) (дата обращения: 14.10.2019).
12. Masera M., Bompard E.F., Profumo F., Hadjsaid N. Smart (electricity) grids for smart cities: assessing roles and societal impacts // Proceedings of the IEEE. 2018. V. 106. N 4. P. 613–625. doi: 10.1109/JPROC.2018.2812212
13. Du Y., Tu H., Lukic S., Lubkeman D., Dubey A., Karsai G. Development of a controller hardware-in-the-loop platform for microgrid distributed control applications // Proc. 3<sup>rd</sup> IEEE International Workshop on Electronic Power Grid (eGrid 2018). 2018. P. 8598696. doi: 10.1109/eGRID.2018.8598696
14. Zhao C., Chen J., He J., Cheng P. Privacy-preserving consensus-based energy management in smart grids // IEEE Transactions on Signal Processing. 2018. V. 66. N 23. P. 6162–6176. doi: 10.1109/TSP.2018.2872817
15. Wang K., Hu X., Li H., Li P., Zeng D., Guo S. A survey on energy internet communications for sustainability // IEEE Transactions on Sustainable Computing. 2017. V. 2. N 3. P. 231–254. doi: 10.1109/TSUSC.2017.2707122
1. Challenges of the electric grid complex and ways to overcome them. Strategic session of IDGC of Center, PJSC and IDGC of Center and Volga Region, PJSC, 2018, 19 p. (in Russian)
2. Mozokhin A.E., Shvedenko V.N. Digitization development directions of national and foreign energy systems. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2019, vol. 19, no. 4, pp. 657–672 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-4-657-672
3. *Digital transition in the power industry of Russia. Expert and analytical report from 13.09.2017*. Center for Strategic Research, 2017, 47 p. Available at: [https://csr.ru/wp-content/uploads/2017/09/Doklad\\_energetika-Web.pdf](https://csr.ru/wp-content/uploads/2017/09/Doklad_energetika-Web.pdf) (accessed: 14.10.2019). (in Russian)
4. *Oil and Gas Journal Russia. World energy consumption will increase by 2035 by 41% — BP*. Available at: <http://ogjruussia.com/news/view/mirovoe-potreblenie-energii-vozzrastet-k-2035-godu-na-41-bp> (accessed: 14.10.2019). (in Russian)
5. *Strategy 2020: A new growth model – a new social policy. Final report on the results of expert work on pressing problems of Russia's socio-economic strategy for the period until 2020. Book 1*. Ed. by V.A. Mau, Ya.I. Kuzminov. Moscow, Publishing House “Delo” RANEP, 2013, 430 p. (in Russian)
6. Arefev N.V. *The development of infrastructure in Russia at the present stage. The second volume of the information-analytical publication “Infrastructure of Russia”*. Vol. 2. 2013. Available at: <http://federalbook.ru/files/Infrastruktura/Soderjaniye/Tom-2/III/Arefyev.pdf> (accessed: 14.10.2019). (in Russian)
7. *The role of RES-based microgeneration in the development of distributed energy in Russia. Moscow School of Management Skolkovo*. 2017. Available at: [https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/News/SKOLKOVO\\_EneC\\_2017.11.01\\_Khokhlov.pdf](https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/News/SKOLKOVO_EneC_2017.11.01_Khokhlov.pdf) (accessed: 14.10.2019). (in Russian)
8. Abakumova K.N. Modern trends in the development of science and innovation. *Modern trends in education and science: Sat. scientific tr according to the materials of the Intern. scientific-practical conf.* Part 10. Tambov, 2014, pp. 8–10. (in Russian)
9. New energy forecasts. *Energy Bulletin*, 2018, no. 66. Available at: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/19857.pdf> (accessed: 14.10.2019). (in Russian)
10. *The mechanism of strategic planning in the implementation of the concept of Smart Grid*. Available at: <https://docplayer.ru/34232951-Mehанизm-strategicheskogo-planirovaniya-v-realizacii-konceptcii-smart-grid.html> (accessed: 14.10.2019). (in Russian)
11. Kobets B.B., Volkova I.O. *Innovative development of the electric power industry based on the Smart Grid concept*. Available at: [https://www.hse.ru/data/2013/01/23/1306487070/SmartGrid\\_monografia.pdf](https://www.hse.ru/data/2013/01/23/1306487070/SmartGrid_monografia.pdf) (accessed: 14.10.2019). (in Russian)
12. Masera M., Bompard E.F., Profumo F., Hadjsaid N. Smart (electricity) grids for smart cities: assessing roles and societal impacts. *Proceedings of the IEEE*, 2018, vol. 106, no.4, pp. 613–625. doi: 10.1109/JPROC.2018.2812212
13. Du Y., Tu H., Lukic S., Lubkeman D., Dubey A., Karsai G. Development of a controller hardware-in-the-loop platform for microgrid distributed control applications. *Proc. 3<sup>rd</sup> IEEE International Workshop on Electronic Power Grid (eGrid 2018)*, 2018, pp. 8598696. doi: 10.1109/eGRID.2018.8598696
14. Zhao C., Chen J., He J., Cheng P. Privacy-preserving consensus-based energy management in smart grids. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 2018, vol. 66, no. 23, pp. 6162–6176. doi: 10.1109/TSP.2018.2872817
15. Wang K., Hu X., Li H., Li P., Zeng D., Guo S. A Survey on energy internet communications for sustainability. *IEEE Transactions on Sustainable Computing*, 2017, vol. 2, no. 3, pp. 231–254. doi: 10.1109/TSUSC.2017.2707122

**Авторы**

**Мозохин Андрей Евгеньевич** — кандидат технических наук, заместитель начальника отдела, Филиал ПАО «МРСК Центра» — «Костромаэнерго», Кострома, 156961, Российская Федерация; доцент, Костромской государственной университет, Кострома, 156005, Российская Федерация, ORCID ID: 0000-0003-4673-8425, mozokhin@mail.ru

**Мозохин Александр Евгеньевич** — кандидат технических наук, начальника отдела, Фабрика мебели «Ваш день», Кострома, 156025, Российская Федерация; доцент, Костромской государственной университет, Кострома, 156005, Российская Федерация, ORCID ID: 0000-0001-9422-9110, sanmoz@mail.ru

**Authors**

**Andrey E. Mozokhin** — PhD, Deputy Department Head, IDGC Branch of Centre — Kostromaenergo, Kostroma, 156961, Russian Federation; Associate Professor, Kostroma State University, Kostroma, 156005, Russian Federation, ORCID ID: 0000-0003-4673-8425, mozokhin@mail.ru

**Alexander E. Mozokhin** — PhD, Department Head, Furniture Factory “Your Day”, Kostroma, 156025, Russian Federation; Associate Professor, Kostroma State University, Kostroma, 156005, Russian Federation, Кострома, 156005, Российская Федерация, ORCID ID: 0000-0001-9422-9110, sanmoz@mail.ru