ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ — СИСТЕМНАЯ ЗАДАЧА ЧЕТВЕРТОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ РЕВОЛЮЦИИ

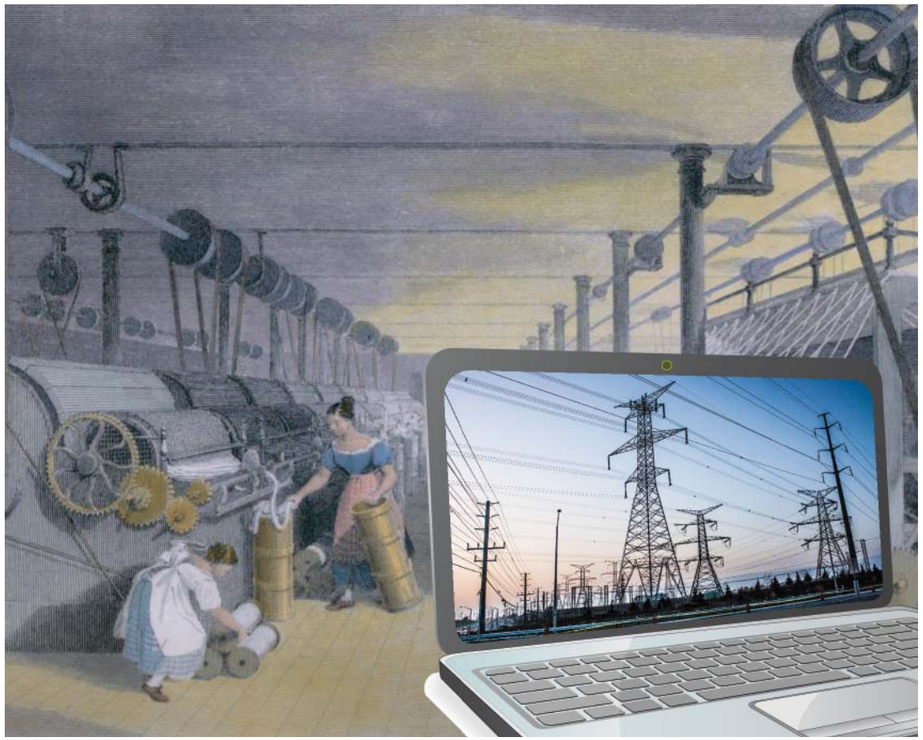
АВТОРЫ:

В.Э. ВОРОТНИЦКИЙ,
Д.Т.Н.,
АО «НТЦ ФСК ЕЭС»

Ю.И. МОРЖИН,
Д.Т.Н.,
АО «НТЦ ФСК ЕЭС»

Современный мир находится на пороге Четвертой промышленной революции. Особенностью этой революции является переход экономик развитых и развивающихся стран на цифровые технологии.

Ключевые слова: цифровая экономика; цифровая энергетика; цифровые электрические сети; автоматизация; информационные технологии; производство, передача и распределение электроэнергии.



Четвертая промышленная революция — это переход экономик на цифровые технологии

С некоторой степенью условности можно утверждать, что современная индустриально-техническая цивилизация, возникшая 200–300 лет назад, претерпела значительные изменения в процессе своей эволюции. При этом периоды относительно медленного развития перемежались резкими скачками уровней технологий и эффективности индустриального производства. Такие скачки принято называть промышленными революциями.

ВВЕДЕНИЕ

Смена технологических укладов и промышленных революций — объективная закономерность и ключевой фактор инновационного развития [1-4].

Первой промышленной революцией принято считать период с 1750 по 1870 гг. Это время характеризуется появлением в текстильной промышленности машин, использующих энергию воды, изобретением парового двигателя и ускоренным развитием на его основе железнодорожного транспорта, парового судоходства, механического производства во всех отраслях промышленности.

Вторая промышленная революция охватывает период с 1870 по 1950 гг., который характеризуется изобретением электродвигателя, трансформатора, техники по производству, передаче и потреблению электрической энергии, ее использованием в промышленном производстве, началом развития тяжелого машиностроения и электротехнической промышленности, новыми открытиями в области химии. В это время появились автомобили, начала создаваться и развиваться реактивная авиация, делались первые шаги по использованию атомной энергии сначала в военных, а затем и в мирных целях, по развитию средств связи, телевидения, были выпущены первые компьютеры и программное обеспечение.

Третья промышленная революция (Индустрия 3.0, или Эра информатизации), охватывающая период с 1950 г. по настоящее время, опирается на достижения в области микроэлектроники, силовой электроники, информатики и цифровых вычислений, биотехнологий, нанотехнологий, генной инженерии, мобильной спутниковой связи и космических технологий, систем навигации, лазерной техники, глобальной информационной системы, новых нетрадиционных источников энергии. Начинается переход к интеллектуальным системам управления технологическими процессами, к управлению энергопотреблением с использованием технологий «Умный дом», «Умный город» с расширением применения распределенных и возобновляемых источников и накопителей электроэнергии, к созданию материалов с заранее заданными свойствами.

Четвертая промышленная революция (Индустрия 4.0, или Эра цифровизации) в ряде промышленно развитых стран практически уже началась.

Паровоз — одно из самых значительных созданий Первой промышленной революции

ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ, КЛЮЧЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И РИСКИ ЧЕТВЕРТОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ РЕВОЛЮЦИИ

Главная цель всех промышленных революций и изменения технологических укладов — улучшение качества жизни людей. С начала Первой промышленной революции и до настоящего времени средний размер реального дохода на душу населения в странах Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) возрос на 2900 % [1]. За это же время средняя продолжительность жизни выросла в большинстве этих стран почти вдвое. Вместе с тем из-за неравномерного распределения энергетических ресурсов на Земле, эксплуатации одних народов и государств другими, увеличивающейся конкуренции за технологическое превосходство между странами, пренебрежения экологической безопасностью, применения новых технологий в промышленности и сельском хозяйстве растет экономическое неравенство между регионами внутри этих государств, неравномерно распределяются блага, полученные от новых технологий.

Один из первых паровых двигателей

Основные задачи Четвертой промышленной революции сформулированы в работе К. Шваба и Н. Девиса [1]. Они должны решаться комплексно при внедрении каждой из ключевых технологий этой промышленной революции, к которым относятся:

- новые вычислительные технологии, в первую очередь цифровые компьютерные вычисления;
- блокчейн, технологии распределенного реестра и обработки больших данных;
- интернет вещей;
- искусственный интеллект и роботы;
- аддитивное производство и многомерная печать;
- биотехнологии;
- нейротехнологии;
- виртуальная и дополненная реальность.

Практика показала, что все эти технологии будут развиваться значительно быстрее, чем технологии первых трех промышленных революций. Последствия их применения все более непредсказуемы. Уже сейчас становится ясным, что они затронут личную жизнь каждого человека на Земле. Если во главу угла будут поставлены получение дополнительной прибыли отдельными компаниями и олигархами, монополизация и захват лидирующих позиций на мировых и внутренних рынках, приоритеты в военных областях и в космосе, в продаже вооружений, то Четвертая промышленная революция может оказаться последней в земной цивилизации.

В первую очередь отмеченное относится к применению цифровых технологий в экономике и энергетике как базовой части экономики.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НОВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УКЛАДА

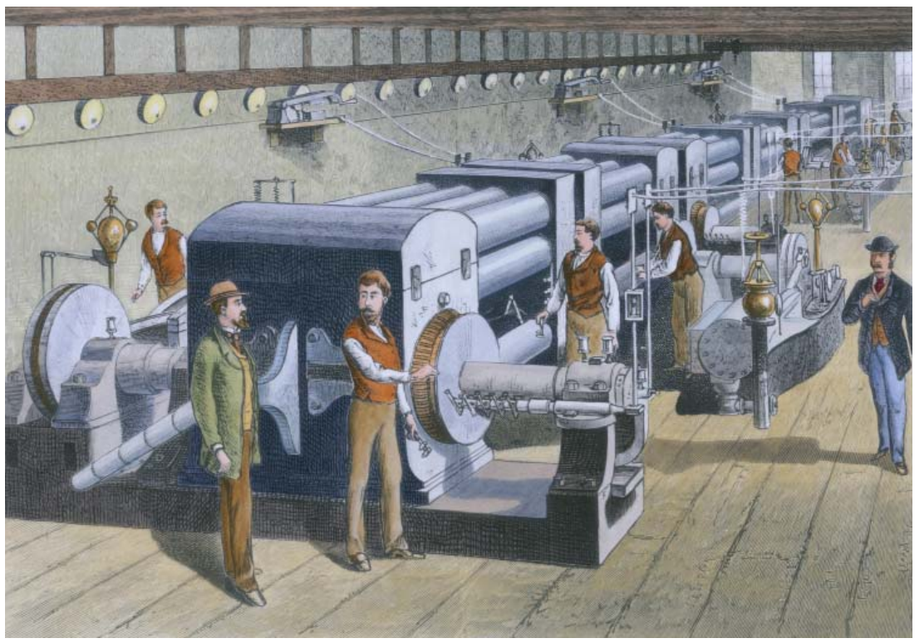
Ключевой технологией, начиная со Второй промышленной революции, которая на все последующие годы существования человечества на Земле остается доминирующей, стала технология производства, передачи и потребления электроэнергии, развития на ее основе всех отраслей промышленности во всем мире. Электроэнергия является универсальным энергоресурсом жизнеобеспечения и комфорта населения планеты, экономического и социального развития стран и народов на многие годы. Неудивительно, что передовые технологии на новых технологических укладах, как правило, зарождались именно в электроэнергетике, особенно нуждающейся в развитии инноваций, автоматизации, применении новых вычислительных методов и алгоритмов решения сложнейших задач прогнозирования развития и многокритериальной оптимизации режимов больших систем. Эти задачи требуют обработки оперативной информации с большой скоростью и точностью с применением самой современной вычислительной техники и технологий. Благодаря системному подходу к решению этих задач, уже в середине XX в. в СССР приступили к созданию интегрированной автоматизированной системы управления (ИАСУ) «Энергия». ИАСУ на многие годы послужила основой для эффективного и безаварийного управления Единой электроэнергетической системой Советского Союза [5–8]. Она же должна стать и уже становится базой для цифровой интеллектуальной электроэнергетической системы России нового технологического уклада Четвертой промышленной революции.

Согласно исследованию, проведенному Всемирным экономическим форумом по международному индексу сетевой готовности к цифровой экономике за 2016 г., Российская Федерация занимает 41-е место в мире со значительным отставанием от первой десятки лидирующих стран, таких как Сингапур, Финляндия, Швеция, Норвегия, США, Нидерланды, Швейцария, Великобритания, Люксембург и Япония [9].

Существует мнение, что, прежде чем внедрять новые цифровые технологии, необходимо модернизировать и реконструировать первичное оборудование электроэнергетики [10]. Расчеты показывают, что такой экстенсивный путь приведет к явно завышенным капитальным вложениям. Модернизацию и реконструкцию необходимо проводить параллельно с учетом возможностей новой техники и технологий производства, передачи и распределения электроэнергии, новых алгоритмов и систем управления режимами работы электрических сетей и станций, управления нагрузкой и современных тенденций развития энергетики и информационных технологий в России и мире.

В связи с этим, а также с учетом опыта создания и развития ИАСУ «Энергия», уже в 2012 г. были разработаны и приняты к исполнению Основные положения концепции интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью (ИЭС ААС) [11]. В этой концепции:

- проведен анализ зарубежного опыта построения интеллектуальных сетей, ориентированных в первую очередь на развитие интерфейса с конечным потребителем и распределенной генерацией (на основе использования энергии ветра, солнца и др.), построения интеллектуальных микросетей, обеспечивающих устойчивую работу электроприемников потребителей и местных источников питания как в изолированном от внешней ЭЭС, так и в синхронном с ней режимах работы;
- сформулирована идеология и принципы развития ИЭС ААС, как клиентоориентированной энергосистемы нового поколения, основанные на последовательном повышении качества управления в ЕЭС / ЕНЭС, достигаемом за счет применения образцов прорывной техники, новых информационных технологий и технологий управления. Работа [11] представляет концептуальную основу инновационного развития ЕНЭС и охватывает иерархию задач управления от режимов функционирования ЕЭС до управления качеством и надежностью электроснабжения потребителей, учета особенностей электроснабжения крупных городов и мегаполисов, распределенной генерации, управления спросом, построения интеллектуальных микросетей;
- рассмотрены устройства новой (прорывной) техники. Новые виды техники, такие как гибкие электропередачи, элементы постоянного тока, ВТСП, цифровые подстанции и др., создают в перспективе качественно новые возможности для повышения надежности и качества функционирования ЕЭС / ЕНЭС;
- сформулированы направления применения и исходные предложения по местам установки новой техники;
- рассмотрена существующая система управления режимами работы ЕЭС РФ. Намечены пути развития современной АСДТУ.



Первая электрическая станция Эдисона на Перл-стрит в Нью-Йорке, 1882 г.

Даны предложения по использованию новых алгоритмов анализа и управления режимами в ИЭС ААС;
- проанализированы возможности использования информационных и коммуникационных интерфейсов между различными элементами в ИЭС ААС;
- поставлена задача по организации киберзащищенности всей системы управления в ИЭС ААС;
- рассмотрено участие потребителей в сглаживании графиков нагрузки;
- проработаны предложения по активизации и мотивации участия потребителей в этом процессе;
- приведены стоимости установки элементов и эффекты от внедрения ИЭС ААС;
- даны предложения по уточнению нормативно-законодательной базы при создании ИЭС ААС;
- приведена дорожная карта создания ИЭС ААС.

Инновационные направления развития энергетики РФ, представленные в Концепции ИЭС ААС, развивались в 2012–2015 гг. в рамках технологической платформы «Интеллектуальная энергосистема России» под руководством ФГУП «Российское энергетическое агентство».

Концепция ИЭС ААС была дополнена и конкретизирована в Политике инновационного развития, энергосбережения и повышения энергетической эффективности ПАО «Россети» (далее Политика), утвержденной Советом директоров компании в апреле 2014 г.

Во исполнение и развитие Политики в 2016 г. утверждена Программа инновационного развития ПАО «Россети» на период 2016–2020 гг. с перспективой до 2025 г. (протокол Совета директоров от 30.12.2016 № 250) (далее Программа). В Программе выделены следующие приоритетные направления:

1. Масштабное внедрение цифровых подстанций напряжением 35–110 (220) кВ.
2. Создание и развитие цифровых электрических сетей с распределенной системой автоматизации и управления, на новом качественном технологическом уровне объединяющей электрические сети, потребителей и производителей электроэнергии в единую автоматизированную систему. Принципиальным отличием таких сетей является существование присоединенных к ним распределенных источников электроэнергии, принадлежащих потребителям (наличие «активных потребителей»).
3. Переход к комплексной оптимизации эффективности бизнес-процессов и автоматизации систем управления, создание модели сети с единым стандартом данных, управления оперативными работами в сетях, расчета и оптимизации режимов сетей и т.п.
4. Применение новых технологий и материалов в электрических сетях (композитных материалов, сверхпроводимости, применение постоянного тока при передаче электроэнергии по сетям среднего и низкого номинального напряжения).

Автомобиль — творение Второй промышленной революции

Целью Программы на среднесрочный и долгосрочный периоды до 2025 г. является переход к электрической сети нового технологического уклада с качественно новыми характеристиками надежности, эффективности, доступности и управляемости электросетевого комплекса России в целом.

Под электрической сетью нового технологического уклада понимается электроэнергетическая система, характеризующаяся следующими основными свойствами:

1. автоматическое управление электросети на принципах распределенного (мультиагентного) управления;
2. самодиагностика в режиме реального времени параметров и режимов работы энергосистемы, отдельных объектов и единиц оборудования с целью повышения системной и потребительской надежности, снижения операционных издержек и т.д.;
3. гибкая автоматическая реконфигурация сети в ответ на изменение ее параметров и топологии (в том числе предотвращение аварий / самовосстановление сети после аварий);
4. предоставление различным категориям потребителей специализированных услуг и сервисов (диверсифицированных по времени, объемам, качеству и цене поставок электроэнергии, регулирование спроса и генерации, зарядка электромобилей и др.).

Для достижения реализации цели Программы определены следующие основные задачи:

- достижение среднемировых показателей надежности, безопасности, качества, эффективности и доступности энергоснабжения потребителей за счет внедрения новой техники, технологий и практик;
- повышение клиентоориентированности ПАО «Россети» за счет совершенствования существующих и создания новых, в том числе высокотехнологичных сервисов;
- разработка, апробация и обеспечение условий серийного внедрения инновационного оборудования и практик с учетом факторов комплексной эффективности и на основе принципов управления жизненным циклом объектов и систем;
- совершенствование системы взаимодействия с субъектами отраслевой инновационной экосистемы — субъектами малого и среднего предпринимательства, вузами, научно-исследовательскими организациями, ведущими отечественными и зарубежными производителями оборудования и т.д.;
- совершенствование системы управления инновационной деятельностью, в том числе создание Фонда поддержки научной, научно-технической, инновационной деятельности, участие в отраслевом Фонде электроэнергетики и формирование системы управления интеллектуальной собственностью;
- повышение эффективности деятельности Общества и его ДЗО на новой технологической и методологической базах;
- формирование кадрового потенциала с перспективными компетенциями для обеспечения задач инновационного развития Общества и его ДЗО;
- создание условий для развития перспективных научных исследований, технологических работ и передовых производств на территории Российской Федерации;
- снижение негативного влияния объектов электросетевого комплекса на окружающую среду.

В Программе вместо термина «цифровизация» используется термин «оцифровка», который распространяется не только на процессы управления, но и на технологические процессы, и определяется следующим образом:

«Оцифровка процессов управления и технологических процессов — переход от аналогового к цифровому принципу управления автоматики, релейной защиты и противоаварийной автоматики, автоматизированной системы управления технологическими процессами, учета электроэнергии и связи (применение цифровых измерительных трансформаторов, векторных регистраторов режима, оборудования цифровых сетей, переход к цифровой подстанции и т.п.); цифровое моделирование и проектирование; цифровизация управления производственными активами; внедрение цифровых систем наблюдения технологических процессов в электрических сетях и на подстанциях».

Одним из комплексных проектов, который по духу и сути соответствует и Политике, и Программе инновационного развития ПАО «Россети», является одобренная Правительством РФ национальная технологическая инициатива (НТИ) «Энерджинет». Утверждена и реализуется Дорожная карта НТИ «Энерджинет»

(далее — Дорожная карта). Ее координацию осуществляет Минэнерго России, а в практической реализации активное и непосредственное участие принимает ПАО «Россети».

В Дорожной карте поставлена амбициозная задача — достичь к 2035 г. объема выручки российских компаний на глобальном рынке (в первую очередь в БРИКС и развивающихся странах) комплексных систем и сервисов интеллектуальной энергетики не менее 40 млрд долл. в год, в том числе занять доли рынка в сегментах:

- надежные и гибкие распределительные сети — 10–12 %;
- интеллектуальная распределенная энергетика — 3–6 %;
- потребительские сервисы — 3–6 %.

Намечено три срока реализации этапов Дорожной карты:

2020 г. — создание цифровой инфраструктуры и сервисов по реализации пилотных проектов на основе имеющихся научно-технических заделов;

2025 г. — разработка практических технологий по созданию адаптивной инфраструктуры и сервисов в энергетике, реализация пилотных проектов на базе новых технологий;

2030 г. — инициация проведения исследований по темам создания самоорганизующихся инфраструктур и сервисов.

На каждом из трех этапов предусматриваются развитие нормативно-правовой базы, стандартов, образовательных программ, разработка и внедрение мероприятий по продвижению продуктов, сервисов и компаний на рынках целевых стран в соответствии с результатами работ по этапам.

В Дорожной карте предполагается реализация следующих технологических и социальных трендов:

1. «Цифровизация» инфраструктуры — внедрение систем интеллектуального учета энергетических потоков, систем распределенной автоматизации, систем оперативного контроля состояния оборудования и качества энергоснабжения, потерь электроэнергии, формирование цифровых моделей для оптимального управления функционированием и развитием электрических сетей.
2. Глубокая децентрализация производства энергии — вовлечение в энергосистему распределенных генерирующих источников (в том числе ВИЭ), оптимальное сочетание централизованной и децентрализованной (автономной) энергетики, внедрение эффективных (окупаемых) накопителей электроэнергии.
3. Переход к интеллектуальному управлению и инжинирингу — внедрение интеллектуальных киберфизических устройств, методов искусственного интеллекта для автоматического управления процессами.
4. Расширение инвестиционной базы — масштабное привлечение частных инвестиций, внедрение нового поколения экономических инструментов и технологий.
5. Обеспечение новых социальных практик и возможностей для конечных потребителей, сервисных организаций и регуляторов — использование открытых данных и открытых сервисных платформ, применение интернета вещей, новых моделей взаимодействия потребителей и энергоснабжающих организаций.

Практическая реализация перечисленных трендов позволит перейти к энергетике нового уклада — интернету энергии, т.е. к энергетике, в которой между потребителями и энергоснабжающими организациями осуществляется беспрепятственный энергетический и информационный обмен.

Таким образом, основы применения цифровых технологий в электрических сетях России были заложены еще в середине XX в. и уточнены в 2014–2016 гг. в политике и программе их инновационного развития.

Существенным стимулом к активизации работ по цифровой трансформации энергетики, в том числе электрических сетей, послужило утверждение распоряжением Правительством РФ от 27.07.2017 № 1632-р программы «Цифровая экономика Российской Федерации» [9].

МЕСТО ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ В ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ. ВЗАИМОСВЯЗЬ ЦИФРОВИЗАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Основная цель развития экономики РФ на основе цифровых технологий, сформулированная в программе «Цифровая экономика Российской Федерации» [9], направлена «на создание условий для развития общества знаний в Российской Федерации, повышение благосостояния и качества жизни граждан страны путем повышения доступности и качества товаров и услуг, произведенных в цифровой экономике с использованием современных цифровых технологий, повыше-

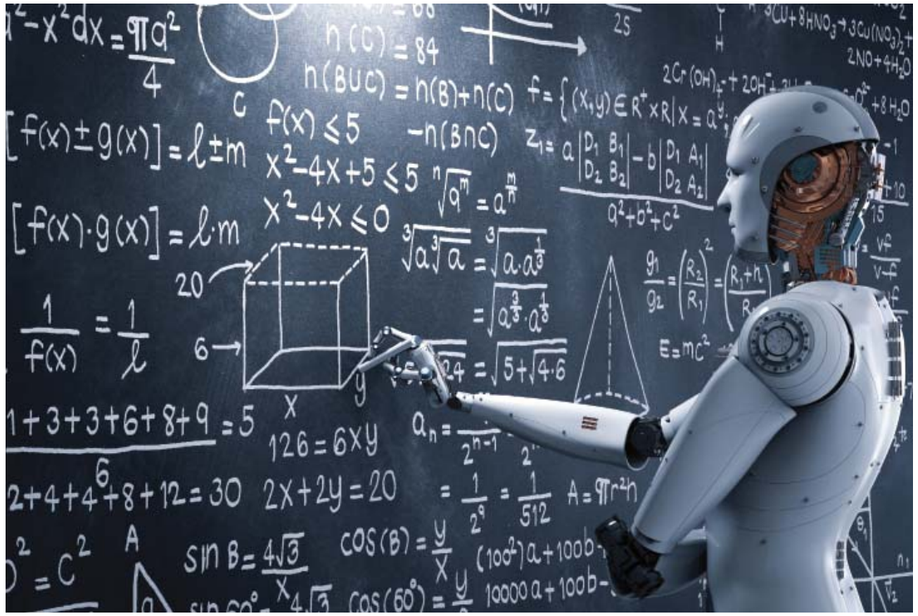
Пульт управления Большой электронно-счетной машины БЭСМ-6

ния степени информированности и цифровой грамотности, улучшения доступности и качества государственных услуг для граждан, а также безопасности как внутри страны, так и за ее пределами». В этой же Программе дано следующее определение: «Цифровая экономика представляет собой хозяйственную деятельность, ключевым фактором производства в которой являются данные в цифровой форме, и способствует формированию информационного пространства с учетом потребностей граждан и общества в получении качественных и достоверных сведений, развитию информационной инфраструктуры Российской Федерации, созданию и применению российских информационно-теле-коммуникационных технологий, а также формированию новой технологической основы для социальной и экономической среды».

Процитированное определение свелось, к сожалению, в основном к формированию и развитию информационного пространства, информационной инфраструктуры, информационных и телекоммуникационных технологий и «технологической основы для социальной и экономической сферы». Во исполнение программы «Цифровая экономика РФ» Минэнерго России в марте 2018 г. утвердило паспорт программы «Цифровая трансформация электроэнергетики России», после чего термин «цифровизация» (русский перевод английского слова digitalization) стал широко применяться в отрасли с различными его трактовками и определениями. В частности, в одной из презентаций с комментариями к программе «Цифровая трансформация электроэнергетики России» отмечается, что цифровизация не равна автоматизации. При этом поясняется, что автоматизация — это неотъемлемая часть технологического процесса, которая является необходимым, но недостаточным условием обеспечения конкурентных на глобальном рынке показателей российского ТЭК. Зато «внедрение на базе цифровых технологий риск-ориентированной модели управления в электроэнергетике для минимизации совокупной стоимости владения» обеспечит «снижение себестоимости кВт·ч при заданном уровне надежности и приемлемом уровне тарифной нагрузки» [12]. В одной из статей это противопоставление усиливается: «...Огромной ошибкой будет свести цифровизацию к автоматизации..., другой довольно распространенной ошибкой стало отождествление понятий "инновационная деятельность" и "цифровизация"...» [13].

Аналогичным образом ПАО «Россети» в проекте Концепции цифровизации сетей на 2018–2030 гг. [14] также разделило понятия «цифровизация» и «автоматизация» сети. Более того, необходимость такого разделения подтверждена Протоколом заседания Президиума Научно-технического совета ПАО «Россети» от 05.09.2018 г., на котором рассматривался проект Концепции. В этом протоколе сказано: «Понятие "цифровизация сети" направлено на контроль режимов работы сети всех участников процесса выработки, передачи и потребления электроэнергии. Понятие "автоматизация сети" направлено, в первую очередь, на оперативное диспетчерское управление технологическими процессами» [15]. Основываясь на таком разделении, некоторые авторы уже высказывают утверждения, что автоматизация, которая развивается уже много лет, должна относиться к модернизации и инновациями не является. Но это противоречит и политике, и программе инновационного развития сетей, и самой сути процессов цифровизации и автоматизации. Данные процессы теснейшим образом связаны между собой. Именно благодаря этому и может быть обеспечено достижение суммарных эффектов, которые незаслуженно начинают приписывать только «цифровизации».

Весьма опасным представляется утверждение одного из руководителей ПАО «Россети», сформулированное им на заседании Круглого стола Российской энергетической



Четвертая промышленная революция — новые компьютерные технологии, искусственный интеллект и роботы

недели (www.rusenergyweek.com), прошедшей в октябре 2018 г. Дословно оно прозвучало следующим образом: «Как только ты дал себе четкое определение, ты ограничил себя в развитии. В сегодняшнем мире, когда у нас все инновации поставлены на поток, определения многим вещам давать не нужно. Надо ловить тренд и в нем жить. Понимать, что он позволяет тебе получить более удобные позиции на рынке, увеличить свою производительность и эффективность и двигаться в нем». И это сказано на фоне того, что сегодня во всем развитом мире ведется масштабная работа по стандартизации всей деятельности, касающейся и цифровизации, и интеллектуализации энергетики и электросетевого комплекса [16]. При этом речь идет не только о стандартизации терминов и определений, но и об обязательной стандартизации техники и технологий, информационных обменов, защиты информации и т.п., чтобы «не ловить тренд и в нем жить», а двигаться к цивилизованным целям в рамках согласованных и всем понятных требований.

Из вышеотмеченного следует, что определения ключевых терминов «цифровизация экономики», «цифровизация энергетики», «цифровизация электросетей» и т.п. требуют уточнения и конкретизации как в части области их применения, так и в части ожидаемых результатов этого применения. По нашему мнению, в цифровизации энергетики и электрических сетей не следует разделять и противопоставлять понятия «цифровизация» и «автоматизация». Об этом свидетельствует весь прошлый опыт и практика создания и развития автоматизированных систем управления отраслью. Учитывая этот опыт и определения, данные в политике и программе инновационного развития электрических сетей, под цифровизацией электрической сети следовало бы понимать комплекс мер по переводу действующей электрической сети, средств и систем управления ее оперативным диспетчерским, технологическим, ремонтно-эксплуатационным обслуживанием и бизнес-процессов в цифровой формат на основе технологий Четвертой промышленной революции. Цифровизация электросетей должна выполняться для повышения эффективности услуг по передаче и распределению электроэнергии, обеспечения доступности, надежности, качества и экономичности электроснабжения потребителей на уровне передовых мировых достижений.

Приведенное определение не претендует на окончательную редакцию и требует широкого обсуждения экспертным сообществом как по структуре составляющих, так и по целям цифровизации. Это в конечном счете позволит минимизировать дискуссии на темы: нужна или не нужна цифровизация, готовы или не готовы мы к ней, каковы оптимальные пути и этапы цифровизации и реальные эффекты от ее внедрения и т.д. и т.п. Только после достижения консенсуса по ключевым понятиям цифровизации можно будет приступать к ее масштабному применению.

ВЫВОДЫ

1. Цифровая трансформация электроэнергетики и электрических сетей России как базовая часть трансформации ее экономики — не самоцель. Она должна осуществляться для улучшения качества жизни населения страны на всей ее территории, обеспечения доступности, надежности, качества и экономичности электроснабжения потребителей на уровне передовых мировых стандартов.
2. Цифровизация электроэнергетики России — очередной этап и часть ее инновационного развития. Она должна создаваться на основе и с учетом всего положительного опыта этого развития.
3. Цифровизация и автоматизация теснейшим образом взаимосвязаны между собой. Именно благодаря этой взаимосвязи, а не противопоставлению, могут быть обеспечены эффекты, обозначенные в п. 2.
4. Стандартизация терминологии и процессов — важнейшая и необходимая составляющая эффективности создания цифровой электроэнергетики.
5. Одновременно с разработкой и внедрением цифровых техники и технологий в электроэнергетике, которые, как правило, дороже традиционных, должны развиваться и совершенствоваться методы системной оценки ожидаемого и фактического технико-экономического эффекта от внедрения инноваций. Эти методы должны основываться на тщательном мониторинге и анализе результатов внедрения новых техники и технологий в пилотных демонстрационных проектах в отечественной энергетике и за рубежом.
6. Планируемые к разработке и внедрению в ближайшие 20–30 лет цифровые системы управления электрическими сетями и энергосистемами намного сложнее традиционных SCADA-систем. Их практическая реализация в российских условиях потребует обязательного учета всего прошлого опыта внедрения ИАСУ «Энергия», новых подходов к управлению режимами электрических сетей в условиях децентрализации электроснабжения потребителей, обеспечения ужесточения требований к надежности, качеству и эффективности электроснабжения. Потребуются качественно новые специалисты по новым информационным системам и программному обеспечению, специалисты-системотехники, способные в комплексе решать сложные взаимоувязанные задачи оперативного и эксплуатационного управления, развития электрических сетей. Потребуются специалисты по системам администрирования и киберзащиты сложных взаимоувязанных баз данных. Подготовка таких специалистов — дело электротехнических вузов и систем повышения квалификации персонала, которые в сегодняшних российских условиях не вполне соответствуют современным требованиям в основном из-за явно недостаточного финансирования со стороны государства и энергокомпаний. Все эти вопросы требуют комплексных и квалифицированных решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шваб К., Девис Н. Технологии Четвертой промышленной революции / Пер. с англ. М.: Эксмо, 2018 (Top Busines Awards).
2. Кондратьев Н.Д. и др. Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения. Избр. труды. М.: Экономика, 2002.
3. Глазьев С.Ю. Стратегия опережающего развития России в условиях глобального кризиса. М.: Экономика, 2010.
4. Воронков Э.Н. Возобновляемая энергетика должна стать ключевым фактором нового экономического цикла // Изв. Академии электротехнических наук РФ. Вып. 18, декабрь 2016. с. 11–21.
5. Семенов В.А. Мне повезло в жизни: Единая энергетическая система России. Воспоминания старейших энергетиков. Сб. статей / Под ред. П.С. Непорожного и А.Н. Семенова: М.: Энергоатомиздат, 1988.
6. Основные научно-технические требовании к созданию интегрированной отраслевой автоматизированной системы управления Минэнерго СССР (ИАСУ Энергия). СПО «Союзтехэнерго». М., 1989.
7. Основные положения по созданию АСУ ПЭС. СПО «Союзтехэнерго». РД 34.08.501-89. М., 1989.
8. Нестеренко В.Л., Карасев Ю.Д. Оперативно-информационные комплексы и системы технологических задач // Энергоэксперт. 2013. № 2 — 2013. с. 24–27.
9. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» (утв. Распоряжением Правительства РФ от 28.07.2017 № 1632-р). URL: Statc. governmetnt.ru/media/files/...pdf.
10. Головщиков В.О. Готова ли электроэнергетика России к переходу на новую технологическую платформу, основанную на массовой «цифровизации»? // Энергетик. № 11-2018. с.3–6.
11. Основные положения концепции интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью. URL: fsk-ees.ru/upload/docs/ies_aas.pdf.
12. Грабчак Е.П. Цифровая трансформация электроэнергетики России. Презентация 27.03.2018. URL: digitenergy.ru/wp-content/themes/energy /img/.
13. Медведева Е.А. Острые углы цифровизации // Электроэнергия. Передача и распределение. 2018. № 4 (49), июль — август. С. 18–20.
14. Концепция цифровизации сетей. Презентация ПАО «Россети». URL: digitalsubstation.com/wp-content/...pdf.
15. Официальный сайт ПАО «Россети»: НТС, Президиум, Решения, принятые на заседаниях президиума НТС ПАО «Россети», 31.08.2018, материалы, протокол № 7. URL:http://www.rosseti.ru.
16. Иванов А.В., Кучеров Ю.Н., Самков В.М. Развитие стандартизации интеллектуальных систем электроснабжения будущего // Энергия единой сети. 2018. № 3 (38). с. 70–74.