

УДК 004:620.9

Д.В. Холкин, И.С. Чаусов¹

ЦИФРОВОЙ ПЕРЕХОД В ЭНЕРГЕТИКЕ РОССИИ: В ПОИСКАХ СМЫСЛА

Аннотация. В работе дана трактовка терминов «цифровая энергетика», «цифровизация», определяющая уникальное содержание стоящих за ними процессов. Представлено концептуальное видение развития электроэнергетики на принципах Internet of Energy и сценарное развитие электроэнергетики на новой цифровой технологической платформе.

Ключевые слова: энергетический переход, цифровая энергетика, транзакция, интернет энергии, интернет распределенной энергетики, интернет вещей, IoT, декарбонизация, цифровизация.

D.V. Holkin, I.S. Chausov²

DIGITAL TRANSITION IN RUSSIAN POWER ENGINEERING: IN SEARCH OF MEANING

Abstract. The paper provides definitions for the terms «digital power engineering» and «digitalization» determining the unique contents of the processes they indicate. The conceptual vision of electric power engineering development under conditions of Internet of Energy and the scenarios of electric power engineering development on a new digital technological platform are presented.

Keywords: energy transition, digital power engineering, Internet of Energy, Internet of Distributed Generation, transaction, Internet of Things, IoT, Neural Grid, decarbonization, digitalization.

Введение

В 2017 г. в России стала активно формироваться и реализовываться политика перехода к цифровой экономике. Была разработана и утверждена Программа «Цифровая экономика Российской Федерации», началось формирование отраслевых программ цифрового перехода, в том числе в сфере энергетики.

07 мая 2018 г. Президентом РФ В.В. Путиным был подписан Указ «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». В Указе предельно концентрированно определены приоритеты по цифровому преобразованию экономики страны, включая конкретно и отрасли энергетики.

В экспертно-аналитическом докладе «Цифровой переход в электроэнергетике России», подготовленном Центром стратегических разработок при участии экспертов направления «Энерджинет» Национальной технологической инициативы, были проанализированы вызовы и перспективы технологического развития российской электроэнергетики и сформированы предложения по повышению ее конкурентоспособности. В частности, в докладе сделаны выводы о том, что существующий технологический уклад в электроэнергетике достиг предела своей эффективности и в перспективе пяти лет в ряде сфер, где потребители предъявляют более высокие требования к надежности, качеству, доступности, экологичности энергоснабжения, будет иметь меньшую конкурентоспособность

¹ Дмитрий Владимирович Холкин – директор Центра развития цифровой энергетики Фонда «ЦСР Северо-Запад», заместитель руководителя рабочей группы «Энерджинет», e-mail: dvh2000g@gmail.com;

Игорь Сергеевич Чаусов – ведущий аналитик Центра развития цифровой энергетики Фонда «ЦСР Северо-Запад», ведущий инженер лаборатории водородной энергетики Института арктических технологий МФТИ.

² Dmitry V. Holkin – Director of the Power Engineering Development Centre of CSR «North-West» Foundation, Deputy Head of the «EnergyNet» working group, e-mail: dvh2000g@gmail.com;

Igor S. Chausov – Lead Analyst of the Power Engineering Development Centre of CSR «North-West» Foundation, Lead Engineer of the Hydrogen Energy Laboratory of the Faculty of Arctic Technologies of MIPT.

по сравнению с решениями новой, цифровой энергетики [1]. Основные изменения затронут «последнюю милю» электроэнергетики, базирующуюся на инфраструктуре распределительных сетей 110 кВ и ниже. Структурные и технологические особенности построения энергосистем будут напоминать интернет, поэтому новый подход часто называют Интернет энергии (Internet of Energy). Таким образом, в энергетической политике России предлагается осуществить маневр по развитию розничного сегмента электроэнергетики на принципах интернета энергии.

В статье изложены результаты исследований и разработок, осуществляемых в развитие положений указанного доклада Центром развития цифровой энергетики в рамках направления «Энерджинет» Национальной технологической инициативы.

Постановка проблемы

Процессы трансформации энергетики, которым многие аналитики склонны приписывать революционный характер, многогранны. И часто, как мудрецы, изучающие с разных сторон слона, эксперты видят только отдельные аспекты новой энергетики, выдавая их за целое. Например, сторонники борьбы с изменением климата уделяют основное внимание масштабному развитию ВИЭ, а апологеты цифровизации предпочитают видеть только процессы перехода к цифровым двойникам и системам интеллектуального управления.

Наиболее целостное представление о трансформации энергетики дается в концепции «3D» (Decarbonization, Decentralization, Digitalization). Decarbonization (декарбонизация) – переход к экологически чистой «безуглеродной» экономике и энергетике, проявляющийся в увеличении доли ВИЭ в энергетическом балансе, электрического транспорта и отказе от ископаемых топлив. Decentralization (децентрализация) – переход к территориально распределенной электроэнергетике с большим числом разноуровневых генераторов и потребителей, выражающийся в росте доли присоединенной к распределительным сетям, относительно мало-мощной и разнообразной по своему характеру генерации; появлении просьюмеров – нового

типа субъектов электроэнергетики, которые являются одновременно и производителями и потребителями электроэнергии; появлении активных потребителей, обладающих возможностью гибко, в том числе по удаленным командам, изменять профиль своего потребления из сети. Digitalization (дигитализация) – переход к повсеместному применению в электроэнергетике цифровых управляемых устройств, подключенных к информационным сетям Интернета, на всех уровнях энергосистемы от устройств генераторов и электрических сетей до конечных, в том числе бытовых, потребителей электроэнергии, что обеспечивает возможность реализации интеллектуального управления энергосистемами, основанного на межмашинном (M2M, IoT) взаимодействии.

Концепция «3D» представляет собой целостную конструкцию, она указывает на причину системных трансформаций в энергетике – Decarbonization, принцип изменения архитектуры энергетических систем – Decentralization, а также на ключевой инструмент для эффективной трансформации – Digitalization. Дело в том, что масштабный переход к экологически чистой «безуглеродной» энергетике приводит к снижению ее системной эффективности, генераторы со стохастической выработкой, использующие энергию Солнца и ветра, требуют создания резервных генерирующих и/или накопительных мощностей. В качестве базового решения проблемы растущей неэффективности энергетики видится переход к децентрализованной организации мощностей, управления и энергетических рынков, обеспечивающей эффективное сочетание крупной и малой распределенной энергетики, лучшее удовлетворение дифференцированных и динамически изменяющихся требований потребителей. Но у совместной работы огромного множества распределенных субъектов в условиях децентрализации архитектуры есть одна принципиальная проблема – растущая с числом участников взаимодействия сложность управления. Цифровизация является технологической базой, позволяющей снять эту проблему.

Нам представляется, что для цифровизации энергетики контекст «3D» является главным. Именно исходя из этого необходимо ответить на вопросы о предметном содержании цифро-

вой энергетики, новых архитектурных подходах к ней и ее формах развития, значении и смысле цифрового перехода в энергетике России.

Предметное содержание цифрового перехода

В названиях «цифровая энергетика», как, впрочем, и «цифровая экономика», указывается на инструментальную основу процессов трансформации экономики, рынков, отраслей, но не на ее суть. Это оказывает новой парадигме медвежью услугу. Термин часто рассматривают как модное обозначение того, что и так делалось в отрасли с момента массового прихода компьютерной техники, а цифровизацию считают синонимом автоматизации.

Но в терминах «цифровая энергетика», «цифровизация» есть свое уникальное сутевое наполнение. Во-первых, эти термины появились в контексте формирования цифровой экономики, и имеет смысл рассматривать их только в такой связке. Из множества определений цифровой экономики следует, что особым ее предметом является экономическая деятельность, коммерческие транзакции и профессиональные взаимодействия, построенные на новых принципах за счет использования информационно-коммуникационных технологий. Следовательно, сутью и цифровой энергетики является изменение и развитие совокупности производственных, экономических отношений в отрасли на основе цифровых подходов и средств.

Во-вторых, основной задачей цифровой энергетики целесообразно считать снижение растущих издержек интеграции распределенной энергетики и рыночных транзакций [2]. Сутью современной эпохи является вытеснение машинами неэффективных, требующих рутинного участия людей, транзакций из экономической и общественной жизни. Появление цифровой платформы в любой индустрии (Uber, Airbnb, Amazon, CAINIAO, SmartCAT, и т.д.) приводит к существенному сокращению транзакционных издержек и ускорению операционных циклов ее участников. Энергетика – не исключение. Например, концепция Transactive Energy, разрабатываемая NIST (США), прямо указывает на транзакции в энергетике как основной предмет новых технологий и практик [3].

В-третьих, необходимо исходить из того, что цифровизация в энергетике – это, прежде всего, создание новых бизнес-моделей, сервисов и рынков с опорой на возможности цифровой экономики. Простой пример из другой отрасли – создание автоматизированной системы диспетчерского управления таксопарком – это автоматизация, а вот Uber, который предоставляет новую бизнес-модель той же услуги, вообще не являясь таксопарком и не владея ни единой машиной, но делая это дешевле и удобнее – это цифровизация. Аналогично в цифровой энергетике важно определить новую бизнес-модель, потенциал которой открывается за счет пронизывающих коммуникаций, межмашинных взаимодействий, цифрового моделирования. В мире наработано уже немало таких бизнес-моделей: агрегаторы спроса, виртуальные электростанции, виртуальное распределенное накопление энергии, энергетическое хеджирование и пр.

В-четвертых, характерным признаком цифровой экономики и энергетики является их киберфизический характер. Он становится возможен, когда «умные» машины начинают формировать и использовать цифровые модели физического мира. Именно это обеспечивает самостоятельность принятия машинами решений в режиме, близком к реальному времени. Иногда кажется, что для новых бизнес-моделей цифровой энергетики достаточно появления средств информирования человека, который все же будет сам принимать решения. Но экспериментальные проекты показали, что люди через некоторое время перестают интересоваться новыми моделями поведения, предъявляющими к ним слишком высокие требования участия. Нужно, чтобы инициативу перехватили киберфизические системы, способные самостоятельно принимать оперативные решения без участия человека. Для этого машины должны руководствоваться не стандартами и жесткими алгоритмами, а целями, заданными людьми, и цифровыми моделями фрагментов реального мира.

Пятым по очереди, но не последним по значимости признаком цифровой экономики и энергетики является освобождение человека от машинных функций, появление новых более креативных форм занятости. Еще в дискуссиях 60-х годов прошлого века обсуждалось, что смысл

кибернетического (цифрового) перехода не в том, чтобы сотворить машину, которая была бы умнее, сильнее и совершенней человека, а в том, чтобы самого живого человека снова сделать умнее и сильнее всего того созданного им мира машин, который вышел из-под его контроля и поработил его. Задача в том, чтобы превратить человека из сырья и средства технического прогресса, из детали производства ради производства в высшую цель этого производства, в самоцель. А это означает, что проект в сфере цифровой энергетики – это всегда появление нового подлинно человеческого труда с большой долей научного, технического, художественного, социального творчества.

Часто цифровой переход называют новой технологической революцией. Но было бы странно революцией называть явления и процессы, давно ставшие обыденностью. Автоматизация производственно-технологических и управленческих процессов является величайшим достижением второй половины XX века. АСУТП электростанций, системы диспетчерского управления, автоматика активных энергетических устройств, системы автоматизации бухучета и делопроизводства – все это важные и актуальные направления эволюции отрасли. Но это не новая технологическая революция, не цифровая экономика, не цифровая энергетика. В изменении на новых основаниях способов организации экономических отношений, приводящем к эффективному вовлечению в оборот миллионов новых субъектов и стоящих за ними «умных» машин, должен состоять новый качественный скачок. Цифровизации в первую очередь будут подлежать не технические системы и внутренние бизнес-процессы, а отношения между людьми, компаниями и общественными институтами.

Архитектура цифровой энергетики

Парадигма, описывающая цифровой переход в энергетике, носит название интернет энергии. Под разными именами (Internet of Energy, Transactive Energy, Energy Cloud, FREEDM Systems) эта парадигма разрабатывается, тестируется и проходит апробацию в разных странах мира. Она является основой для формирова-

ния архитектурно-технологического видения в направлении «Энерджинет» Национальной технологической инициативы и выступает основой для ведущейся в настоящее время разработки IDEA (Internet of Distributed Energy Architecture).

Цели построения архитектуры интернета энергии. Традиционная централизованная архитектура электроэнергетики в значительной степени исчерпала свой потенциал эффективности и в условиях новых вызовов, стоящих перед энергетикой, не может считаться более эффективной и оптимальной. Такими вызовами являются:

- изменение характера спроса потребителей, рост разнообразия их требований и переход к «цифровому» спросу;
- падение эффективности энергетики, низкая загрузка сетевых и генерирующих мощностей и рост издержек в энергосистемах;
- энергетический переход («3D»): быстрое распространение ВИЭ, распределенной энергетики, новых бизнес-моделей и сервисов, базирующихся на использовании цифровых технологий;
- освоение незаселенных и инфраструктурно неразвитых территорий, потребность в эффективном энергоснабжении удаленных и изолированных территорий.

Реализованная в существующих энергосистемах стран мира централизованная архитектура с однопоточными потоками электроэнергии от крупной генерации к распределенным потребителям, единым иерархичным рынком электроэнергии и диспетчерским управлением, унифицированными до уровня стандартов ролями в энергосистеме и уровнями качества электроснабжения не способна эффективно ответить на указанные вызовы.

Удовлетворить указанным требованиям сможет только распределенная электроэнергетика с децентрализованным управлением и рынками, а также широким вовлечением всех пользователей энергосистем в процесс управления ими. Малая генерация, системы накопления энергии, регулируемая нагрузка конечных потребителей, интегрированные между собой и с централи-

ЦИФРОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА

зованной энергосистемой, представляют собой неиспользованный до сих пор ресурс для повышения эффективности энергосистем. Распределенная энергетика повышает эффективность энергосистемы за счет снижения потребности в присоединенной мощности, появления локальных самобалансирующихся объединений генераторов и потребителей малой мощности, вовлечения энергетических активов конечных пользователей в процессы управления энергосистемой, придающей ей гибкость.

Но в существующей архитектуре масштабное развитие распределенной энергетике сталкивается с ростом издержек разного типа:

- транзакционные издержки коммерческого взаимодействия, растущие при росте числа участников транзакций;
- капитальные затраты на информационную интеграцию оборудования в контуры управления;
- капитальные и инженеринговые затраты на интеграцию оборудования в электрические сети, издержки обеспечения системной устойчивости.

В новой архитектуре распределенной энергетике эти издержки должны сводиться к минимуму, а сама распределенная энергетика должна повысить эффективность работы энергосистем

в целом. Энергосистема, построенная по новой архитектуре, должна стать:

- *Транзакционной.* Экономическое взаимодействие между пользователями будет происходить на основе p2p-транзакций, позволяющих реализовать многообразие пользовательских ролей и сервисов, предоставляющих им кастомизированные ценности [4];
- *Интеллектуальной.* Управление системой за счет межмашинного взаимодействия между ее элементами, при котором каждый элемент может самостоятельно принимать решение о реализации того или иного режима своей работы и воздействии на систему, обеспечит легкость интеграции (Plug & Play) энергетических устройств пользователей в контуры управления различных сервисов;
- *Устойчивой и гибкой.* Будет обеспечена легкость технического соединения устройств с сетью при гарантированном поддержании статической и динамической устойчивости системы.

Пользователь такой системы через интерфейс интегрируется в нее и становится полноценным участником новых сервисов и бизнес-моделей.



Источник: Navigant Research.

Рис. 1. Концептуальная модель интернета энергии как «облачной энергетике» (Energy Cloud)

ЦИФРОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Концептуальная модель интернета энергии.
Концептуальная модель интернета энергии опирается на представление об «энергетическом облаке» (рис. 1), введенном аналитиками компании Navigant Research [5].

Согласно этому представлению, интернет энергии является экосистемой технически и экономически взаимосвязанных пользователей. Пользователями интернета энергии могут быть владельцы любого электроэнергетического оборудования (промышленного, коммерческого, бытового), которое может генерировать, накапливать и потреблять электроэнергию, а также субъекты, оказывающие владельцам электроэнергетического оборудования различные услуги.

Пулы оборудования, имеющего общую точку присоединения к электрическим сетям и информационным каналам, обеспечивающим связь с интернетом энергии, образуют его структурную единицу – энергетическую ячейку, которая вне зависимости от состава и сложности своей вну-

тренней структуры взаимодействует с другими энергетическими ячейками как единое целое.

Пользователи интернета энергии при помощи своих энергетических ячеек могут играть различные динамически меняющиеся роли в энергосистеме, оказывая друг другу услуги, такие как поставка электрической энергии, участие в режимном управлении, в том числе в поддержании частоты и уровня напряжения, предоставление энергетического оборудования в «виртуальную» аренду, обеспечение резерва мощности и любые другие виды услуг, которые могут быть оказаны в электроэнергетике.

Взаимодействие ячеек представляет собой энергетические транзакции, которые формируют мультиагентное децентрализованное экономическое и технологическое управление энергосистемой. Энергетическая транзакция, схема которой приведена на рис. 2, – это акт технического и экономического взаимодействия между пользователями и соответствующими энергетическими ячейками, при котором осуществляется



App – сервисные приложения.

Рис. 2. Энергетическая транзакция в интернете энергии

ЦИФРОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА

согласованное управление параметрами работы энергетических ячеек, за счет чего одна сторона энергетической транзакции приобретает некоторое полезное качество, ценность, а другая – получает оплату за эту ценность.

В целях роботизированного оказания и получения этих услуг пользователи обращаются к приложениям интернета энергии. Приложения – это сервисные программы, самостоятельно выстраивающие взаимодействие между энергетическими ячейками за счет формирования наборов энергетических транзакций для реализации тех или иных услуг. Согласованная работа энергетических ячеек за счет сбалансированных рыночных взаимоотношений пользователей придает интернету распределенной энергетики характер экосистемы.

Верхнеуровневая архитектура. Архитектура интернета энергии должна обеспечивать, с одной стороны, возможность реализации энергетических транзакций, с другой – возможность управления энергетическими ячейками за счет межмашинного взаимодействия, наконец, обеспечивать возможность такого распределенного режимного управления в реальном времени, которое позволяет поддерживать баланс мощности в энергосистеме, ее статическую и динамическую устойчивость.

Интернет распределенной энергетики представляет собой систему систем (System of Systems, SoS), архитектура которой строится на особом объединении трех систем, границы и взаимодействия которых друг с другом показаны на рис. 3:

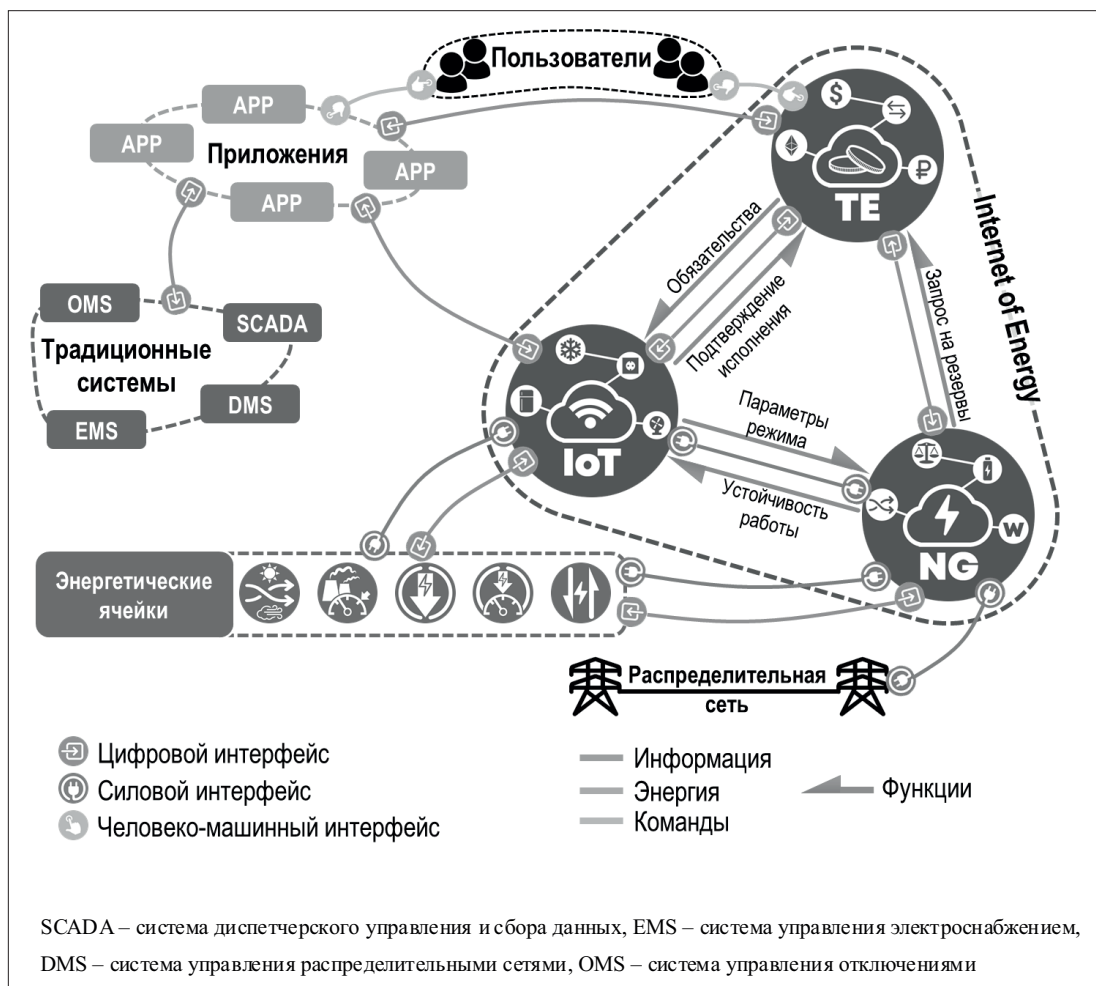


Рис. 3. Архитектура интернета энергии как системы систем: границы систем и взаимодействия между ними

- системы формирования, контроля исполнения и оплаты смарт-контрактов Transactive Energy (TE);
- системы межмашинного взаимодействия и обмена управляющими воздействиями между энергетическими ячейками и энергетическим оборудованием Internet of Things (IoT);
- системы поддержания баланса мощности и обеспечения статической и динамической устойчивости энергосистемы Neural Grid (NG).

Каждая из перечисленных систем может быть развернута самостоятельно и выполнять свою функцию независимо от других систем, но только совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих по специальным протоколам систем TE, IoT и NG формирует интернет энергии.³

Палитра смыслов для выбора российского пути в мир новой энергетики

Тема трансформации энергетики пришла в Россию извне. На ценностном уровне в обществе, а также на уровне государственной политики отсутствует алармистский градус актуальности основного посыла перехода – декарбонизации. Но это не снимает с повестки российской энергетической политики вопросы качественной трансформации электроэнергетической отрасли. В экспертно-аналитическом докладе «Цифровой переход в электроэнергетике России» мы уже отмечали, что особенности организации электроэнергетики в России – протяженная инфраструктура, низкая плотность потребления электроэнергии, большая доля промышленной нагрузки, социально-ориентированная политика, несовершенство рынка и отраслевого регулирования – приводят к постоянному росту цен на электроэнергию для бизнеса и постепенно становятся сдерживающим фактором для развития экономики страны. Инерционный сценарий развития отрасли в ближайшем будущем приведет к тому, что цена на электроэнергию для промышленности в России превысит цену в США и почти сравняется со средней ценой в странах ЕС. Это негативно скажется на конкурентоспо-

собности экспортируемой продукции российской промышленности с ее традиционно высокой удельной энергоемкостью производства.

Актуальность цифрового перехода в энергетике России, прежде всего, связана с необходимостью повышения эффективности использования энергетических мощностей, особенно в преддверии нового инвестиционного цикла. Пакет архитектурно-технологических решений и новых практик интернета энергии является адекватным ответом на специфические российские вызовы.

Однако рассуждения про повышение эффективности, и даже про замещение топливных источников энергии на «зеленые» возобновляемые источники – это сценарии экстраполяции, отражающие «продолженное настоящее» в сложившихся условиях. Обсуждая потенциал новой технологической платформы в энергетике, парадигмы интернета энергии (IDEA), мы должны строить предположения о новых сценариях развития техно-промышленного и социокультурного уклада, жизнедеятельности общества. Далее мы представим 4 сценария, которые имеют вероятность реализоваться в перспективе 30-50 лет и смогут черпать в парадигме IDEA решения по эффективному энергообеспечению.

Сценарий Power-to-Data. В XXI в. все большую роль в мировой экономике играют цифровые процессы, основанные на операциях с большими данными, блокчейн-платформы и различные роботы – программы, самостоятельно формирующие и принимающие решения в рамках определенных людьми целей, в том числе с использованием технологий искусственного интеллекта. Объемы информации, которая в связи с этим будет обрабатываться и храниться в интересах мировой экономики, возрастают экспоненциально, а инфраструктура работы с этой информацией станет основным потребителем электроэнергии и наиболее ценной формой, в которую электроэнергия может быть превращена. Технологии обработки информации, такие как обучение искусственного интеллекта или расчет хэш-функций, станут ключевым драйвером роста и изменений в энергетике, потребуют новых быстро масштабируе-

³ Более подробно с архитектурой IDEA вы можете познакомиться в [6].

мых энергетических мощностей везде, где будет вестись работа с информацией.

Сценарий Smart Cities. Процесс урбанизации, определявший наиболее мощные социально-экономические изменения в XXI в., в нынешнем столетии только усиливается и ускоряется. Города за счет сочетания множества технологий, объединяемых в понятие Smart City, становятся существенно более разнообразными, комфортными и привлекательными для жизни, а современное общество движется к формированию новых «полисов»: мировых городов – как основной формы организации жизни. Ожидается, что к середине века более 80% всего населения мира будет проживать в растущих и развивающихся городах. Энергопотребление таких мировых городов, которых в мире будут сотни, если не тысячи, будет постоянно расти за счет прироста числа жителей и роста уровня их жизни. Это потребует от энергетики невероятно разнообразных, но в то же время быстрорастущих и требующих минимум места мощностей. Энергетика должна стать одновременно распределенной, чтобы лучше отвечать изменяющимся запросам новых городских районов и сообществ, экологически чистой, не ограничивающей рост городов, и в то же время, в силу высокой плотности потребления в городе, чрезвычайно концентрированной и компактной.

Сценарий Discovery. Новым фронтиром в XXI в. станет освоение труднодоступных и суровых пространств, которые еще не заселены и не обеспечены инфраструктурно, территорий, устойчивая жизнь на которых кажется невероятной. Этими пространствами являются Крайний Север, Антарктида, просторы Сибири и Дальнего Востока, удаленные от берега искусственные острова, центральные районы пустынь, высокогорья, сельва, и даже дно мирового океана. Экспансия цивилизации не остановилась, она будет наращиваться в направлении этого нового рубежа в желании сделать новые суровые территории более доступными и пригодными для жизни. Эта экспансия будет обусловлена не столько поиском ресурсных баз, сколько поиском новых смыслов, стилей и образов жизни. Освоение нового фронта потребует невероятно эффективной автономной энергетики, обладающей возможностью к быстрому разворачи-

ванию и масштабированию для удовлетворения потребностей в энергии в полностью автономном режиме.

Сценарий Mobility. Объемы мировой торговли и глобальный товарооборот все время растут, и этот рост последние 10 лет после кризиса 2008 г. неуклонно ускоряется. Одновременно с этим возрастают и глобальные пассажиропотоки, люди все чаще перемещаются на большие расстояния. Возникают и будут возникать новые виды транспорта, преимущественно электрического, от персонального городского – типа электроскутеров, гироскутеров, моноциклов до электромобилей и электробусов. Существенно вырастет скорость дальнемагистрального транспорта: ожидается появление промышленных образцов поездов на магнитном подвесе со скоростями более 600 км/ч и сверхзвуковых пассажирских самолетов со скоростями более 1500 км/ч. В то же время активно развивается и скоро вступит в стадию взрывного роста индустрия транспортных роботов: от личных роботов-чемоданов и роботов-холодильников до роботизированных средств доставки типа роботов-тележек и различных мультикоптеров. Все эти тенденции объединятся в новый формат транспортного мира, который в сравнении с сегодняшним состоянием будет перемещаться на порядок более интенсивно, в нем будет на порядок, или даже два порядка, больше различных транспортных средств и скорости перемещения в нем вырастут в 2-3 раза. Это потребует чрезвычайно многоуровневой энергетики, которая, с одной стороны, сможет обеспечить растущее в основном централизованное электропотребление магистрального общественного транспорта всех типов, а с другой – позволит заряжать распределенный вплоть до каждого домохозяйства персональный и шэринговый электрический транспорт и электрических подвижных роботов.

Список сценариев не закрыт, он может и будет изменяться вслед за актуализацией тех или иных социально-экономических проблем, появлением новых технологий и приемлемых практик их использования, трансформацией общественного сознания и культурных норм и ценностей. Важно понимать, что цифровой переход в энергетике создает для России новые возможности не только в части повышения эф-

фективности существующей энергосистемы, но и в формировании качественно новых условий для экономического роста и повышения уровня жизни.

Выводы

Разрабатываемый в рамках Национальной технологической инициативы архитектурно-технологический подход к организации элек-

троэнергетики IDEA является ответом на актуальные вызовы сегодняшнего дня и выражает суть цифровой трансформации в энергетике. Архитектура интернета энергии вбирает в себя все основные технологические новации складывающегося техно-промышленного уклада и может служить базой для масштабного развития новых и/или качественно изменяющихся практик производства, транспорта, жизнедеятельности.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Report «Digital Transition in the Electric Power Industry of Russia» / Ed. V.N. Knyaginina, D.V. Holkin, CSR, 2017 (in Russian).
2. Eggertsson T. *Economic Behavior and Institutions*, Moscow: Delo, 2001 (in Russian).
3. *Transactive Energy Models. Business and regulatory models working group*, NIST, 2016.
4. Navigant research «*Transactive Energy Markets*», Navigant, 2018.
5. Navigant research «*Energy Cloud 4.0: Capturing Value through Disruptive Energy Platforms*», Navigant, 2018.
6. *Whitepaper Architecture of the Internet of energy*. DEDC, CSR-NW, 2018 (in Russian).

Поступила в редакцию
05.09.2018 г.