

УДК 330.34 DOI: 10.14451/1.232.343

Цифровизация предприятий электроэнергетического комплекса России

© 2024 **Шулькин Юрий Андреевич**

Аспирант. Национальный исследовательский университет Московский энергетический институт, Россия, Москва.

E-mail: ua.shulkin@mail.ru

© 2024 **Лейман Евгений Николаевич**

Кандидат экономических наук, Доцент кафедры экономики в энергетике и Промышленности. Национальный исследовательский университет Московский энергетический институт, Россия, Москва.

E-mail: leiman@mail.ru

Ключевые слова: стратегическое развитие, цифровизация, энергопереход, электроэнергетика, энергетическая инфраструктура, цифровая инфраструктура, дифференциация, диверсификация, генерация, рынки.

Стратегическая значимость энергетики и ее электроэнергетического сектора очевидна в связи с глобальными вызовами (растущим запросом на энергию, ее хранение и передачу), ориентирами энергоперехода, распознаваемого уже сегодня будущим электрическим миром. Электроэнергетический комплекс России развивается быстрее других секторов в цифровом направлении, интегрируя функционал энергетической и цифровой инфраструктуры. Благодаря цифровым технологиям инфраструктура из ограничителя преобразуется в приоритетный фактор развития всего электроэнергетического комплекса. По каждому из функциональных направлений развития цифровой инфраструктуры актуальны сегодня и в будущем задачи стратегической дифференциации технологических и аппаратных решений, фокусирования на определенном целевом потребительском сегменте, лидерства по издержкам при создании и использовании приборной базы.

Введение

С сентября 2018 года вступил в действие ведомственный проект «Цифровая энергетика». Данный стратегический документ определил направления цифровой трансформации российской энергетики в целом и стратегические задачи электроэнергетического комплекса РФ в части повышения уровня надежности энергоснабжения потребителей; внедрения риск-ориенти-

рованного подхода при изменении управленческих моделей, интеграции цифровых технологий и отраслевых платформенных решений. Документ стал одним из связующих для научно-технологического и собственно энергетического блока стратегических документов ведомства.

Цифровизация не нова, но она продолжает менять энергетический ландшафт, способствуя реализации задач декарбонизации и децентрали-

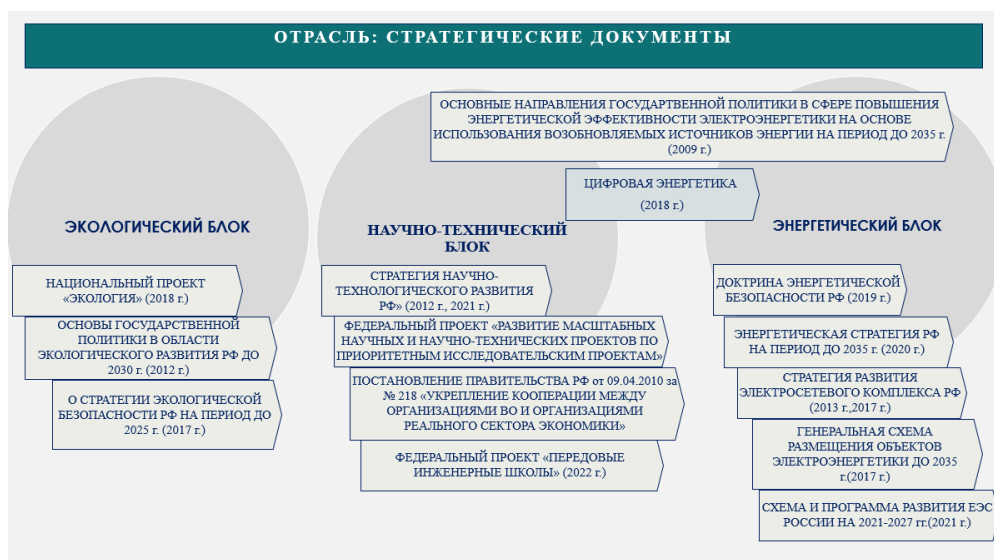


Рис. 1. Основные стратегические документы российской электроэнергетики.

зации. Еще одним маркером успешного внедрения прогрессивных технологических схем – оцифровка и цифровизация относятся к такому – является повышение энергоэффективности, поскольку динамика энергоэффективности лежит в основе развития любой энергетической и производственной системы сегодня. Цифровизация создает возможность решить ряд важных задач в повышении энергоэффективности посредством использования искусственного интеллекта и машинного обучения в рамках анализа потоковых данных и обеспечения взаимодействия группы стейкхолдеров во всех сегментах электроэнергетического сектора – от генерации до гарантированного потребления.

Цифровизация рассматривается как ключевой элемент стратегии развития электроэнергетики – одного из самых сложных отраслевых секторов: энергосистемы часто называют «системой систем». В данном секторе оперируют как крупные объекты **генерации**, так и активы малой генерации; **электросетевые** компании; **энергосбытовые** компании – гарантированные поставщики электроэнергии; компания, осуществляющая **диспетчерские** функции и управление режимом; компании, ответственные за **развитие** и функционирование коммерческой инфраструктуры **рынка**, такие как АТС (Администратор

торговой системы) и ЦФР (Центр финансовых расчетов). Очевидно, что цифровые решения будут распространяться на процессы функционирования всех инфраструктурных и производственных объектов и элементов энергосистемы.

Электроэнергетика трансформируется, при этом диверсифицируется от дельных ее секторов, отрасль развивается в направлении новых технологий, продуктов и отраслевых интеграционных решений – вхождение в такие новые направления, как телекоммуникации и «умные» города, автомобиле- и авиастроение, развитие *Smart Grid* и распределенной генерации.

Цифровизация началась на уровне крупных генерирующих активов. Повысив доступность и удобство использования данных о состоянии электросети, цифровизация обеспечила эффективность и безопасность работы системы в целом. В том числе и благодаря цифровизации были созданы конкурентоспособные оптовые рынки, обеспечена их интеграция на региональном уровне. Сегодня расширяется сфера применения цифровых технологий, растет охват распределительных сетей и потребительских групп, что способствует снижению затрат и улучшению качества обслуживания. Цифровизация создала основу инновационных розничных рынков, на которых расширяются возможности конечных

потребителей и растет представительство новых участников, реформируются подходы к регулированию сектора.

Стратегическая интеграция цифровой инфраструктуры в энергетический ландшафт: развитие функционала.

Одни из самых сложных стратегических задач по цифровому развитию энергосистемы лежат в объединении блока генерации, магистральных и распределительных сетей и блока гарантированной поставки потребителю сектору, где цифровая инфраструктура (информационно-коммуникационная) должна быть интегрирована с электроэнергетической. Именно так видит профессиональное сообщество IEEE, объединяющее специалистов в области энергетики, электроники и электротехники, задачи по развитию *Smart Grid*. Создание интегрированной электроэнергетической инфраструктуры очевидно идет в три этапа, начиная с возможностей *подключения отдельных системных блоков и устройств без единого протокола, на втором этапе – с учетом единого цифрового стандарта и, наконец, на третьем этапе – на принципах децентрализации и равного участия в генерации, распределении и потреблении.*

В настоящее время в электроэнергетическом секторе уже применяется широкий спектр цифровых технологий и компонентов инфраструктуры от искусственного интеллекта (ИИ) и Интернета вещей (IoT) до робототехники и 3D-печати. В широком смысле цифровые технологии используются в электроэнергетике для выполнения *генерации (сбора), передачи, анализа данных и осуществления контроля.* Как будет реализована интеграция цифровой и электроэнергетической инфраструктуры?

Каким образом добиться эффективности цифровой инфраструктуры, результативной интеграции с энергетической инфраструктурой, что обеспечивает бесперебойность и непрерывность энергосистемы? Ответ формируется в каждом функциональном элементе цифровой инфраструктуры и используемых технологиях.

Генерирование данных. *Первым направлением совершенствования процессов генерации данных является совершенствование приборной базы. Данные генерируются посредством датчиков и других измерительно преобразовательных приборов. Измеряется множество переменных в электроэнергетических системах, например, уровень напряжения в сети; мощность, отбираемая или подаваемая в точке подключения; температура воздуха; солнечная радиация; скорость ветра в определенном месте; уровень вибрации и крена в опорных конструкциях и т. д. Безусловно, число переменных будет расти, равно как и запрос на генерацию данных. Основными ориентирами совершенствования использования данного элемента инфраструктуры является совершенствование технических характеристик измерительно преобразовательной приборной базы с одновременным снижением ее стоимости. Второй вектор – совершенствование систем диспетчерского управления и сбора данных, примером которого является SCADA. В данной системе стратегически важным является использование интеллектуальных счетчиков, обеспечивающих возможность двусторонней связи. Третий вектор – развитие глобальной системы измерений, фоновое мониторинга, позволяющих вести в режиме реального времени постоянные измерения и мониторинг на значительных географических территориях с использованием систем GPS. Мобильный режим генерирования данных посредством использования дронов формирует четвертое направление в совершенствовании возможностей генерации данных в энергетических системах. Таким образом, принципами развития процессов генерации данных в цифровой инфраструктуре может быть определено *техническое совершенствование приборной базы, снижение ее стоимости, развитие системы управления процессами генерирования данных, обеспечения географического охвата и мобильных решений.**

Передача данных. Данный функционал оценивается скоростью передачи, отсутствием задержек, надежностью систем передачи данных и обеспечивается весьма представительным пе-



Рис. 2. Интегрированная модель стратегического развития цифровой инфраструктуры.

речнем элементов цифровой инфраструктуры: технических – датчики, счетчики и приемники данных; организационно технических – центры управления и обмена данными; технологических – по сути, сетевых решений – использование связи проводной, беспроводной, радиочастотной, микроволновой, наконец, спутниковой связи, а также технологий связи последних поколений, таких как 5G. Основные принципы стратегического развития – *значительное увеличение числа передающих и принимающих устройств, увеличение скорости передачи, обеспечение надежности и географического охвата* с целью развития в перспективе Интернета вещей (IoT) – системы, в которой множество устройств генерируют и обмениваются данными.

Анализ данных. Рост числа дешевых датчиков, преимуществ высокотехнологичных систем связи увеличивает массивы и потоки данных. Интерес и запрос во всех секторах энергетики на технологии искусственного интеллекта будет расти в связи с задачами неограниченной алгоритмизации. Развитие платформенных решений позволит компаниям создавать экосистемы потребителей и сервисных компаний, распределенной генерации и сетевых объектов.

Основная идея, общая для многих других отраслей, заключается в том, что искусственный интеллект может успешно управлять большими данными, создаваемыми в сложной системе, и использовать их для разработки точных прогнозов, способных повысить качество решений. Такая идея особенно привлекательна в элек-

троэнергетическом секторе из-за его растущей децентрализации, необходимости координировать и оптимизировать значительные объемы генерации и потребления.

Массивы данных, предоставляемые датчиками, установленными на физических объектах, уже сегодня используются для создания цифровых двойников, а значит, решения задач визуализации системы/процесса/операции, мониторинга работы объекта и поддержки его управленческих команд и бригад технического обслуживания. Повышенная прозрачность, обеспечиваемая цифровыми двойниками, приведет к имитации функционирования физических объектов, позволит прогнозировать их будущую производительность, потребность в обслуживании или тестировании альтернативных операционных решений, что особенно важно при реализации системы ТОиР (технического обслуживания и ремонта).

Еще один пример технологической интеграции – P2P – торговля электроэнергией, оптимизация использования распределенных энергетических ресурсов, управление электросетями, финансирование новых энергетических активов (например, электростанций на базе ВИЭ), выпуск и торговля зелеными сертификатами, управление зарядными устройствами для электромобилей (EV) или оптовыми сделками без посредников.

Основные направления стратегического развития – *использование платформенных решений*

с целью развития инновационных оптовых и розничных рынков, обеспечение новых типов P2P-транзакций.

Контроль. Данная функция представлена значительным числом интеллектуальных, автоматических выключателей, реле, регуляторов напряжения и батарей конденсаторов, позволяющих реализовывать передовые и децентрализованные системы управления – системы управления распределением и системы управления отключением, контролировать различные параметры без необходимости какого-либо ручного вмешательства человека. Функция контроля будет активно развиваться посредством решений силовой электроники. Принцип унификации, бесперебойности, непрерывности и единства управления лежит в развитии функции контроля.

Заключение

Цифровизация позволяет принимать более обоснованные решения о планировании новой инфраструктуры генерирующего, сетевого и распределительного сектора электроэнергетики. Объекты электроэнергетики технологически сложны, эффективность их использования в будущем будет зависеть от ряда факторов: пространственной и временной эволюции спроса на электроэнергию, ценовой динамики на первичные источники энергии, в том числе возобновляемые, развития дополнительной или замещающей инфраструктуры. Разработка сценариев развития электроэнергетического комплекса России, анализ затрат и выгод в данном секторе в последние годы усложняется в результате вертикальной дезинтеграции отрасли, увеличи-

вающейся неопределенности в отношении эволюции спроса на энергию, изменчивости систем генерации энергии, растущей зависимости от погодных условий и климатически изменений. Цифровые технологии помогут нивелировать риски и неопределенность, позволяя генерировать и анализировать (большие) данные, моделировать будущее использование существующей или новой инфраструктуры в различных условиях. Ключевыми ориентирами стратегической интеграции цифровой инфраструктуры в энергетический ландшафт выступают:

- **создание ценностного предложения** – обеспечение надежности энергосистемы и повышение эффективности функционирования отдельных блоков/объектов/операций; риск-ориентированная реализация инновационных бизнес-моделей; цифровая трансформации объектов генерации, распределения и гарантированной поставки энергоресурса – в рамках стратегии фокусирования;
- **обеспечение ключевого преимущества** – доступность и удобство использования данных; автоматизация и подключение многочисленных объектов энергосистемы; расширенные возможности потребителей и других заинтересованных сторон – в рамках стратегии дифференциации;
- **оптимизация основных ресурсов** за счет сетевого использования цифровых технологий и платформенных решений; оперативного и неограниченного трансфера лучших практик цифровизации различных сегментов; эффективное руководство и коммуникации – в рамках стратегии лидерства по издержкам.

Библиографический список

1. Ведомственный проект «Цифровая энергетика». Департамент государственной энергетической политики Министерства энергетики Российской Федерации. – URL: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/vedomstvennyiy-proekt-tsifrovayaenergetika.pdf> (дата обр. 13.10.2023).
2. Ластовка И. В. Трансформации предпринимательских структур в электроэнергетике. Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. – 2021.
3. Малкова Т. Б., Тагирова А. М. Актуальные вопросы цифровизации энергосбытовых компаний // Журнал прикладных исследований. – 2022. – № 11.
4. Панова О. В. Анализ прогнозов развития цифровой трансформации ТЭК в мире // Экономика и социум. – 2021. – 11–2 (90).
5. Сташко В. И., Белицын И. В., Побединский Г. А. Актуальные технологии цифровизации электросетевых объектов // European research. – 2020. – 1 (37).
6. Тягунов М. Цифровая трансформация и энергетика // Энергетическая политика. – 2021. –

- 9(163). – С. 74–85. – DOI: [10.46920/2409-5516_2021_9163_74](https://doi.org/10.46920/2409-5516_2021_9163_74).
7. Шпиганович А. Н., Шпиганович А. А., Пушница К. А. Пути развития цифровой энергетики Известия Тульского государственного университета // Технические науки. – 2019. – № 11. – С. 61–70.
 8. Digitalization: enabling the new phase of energy efficiency / P. Verma [et al.]. – 2020.
 9. Electrification and digitalization effects on sectoral energy demand and consumption: A prospective study towards 2050 / L. Xiang [et al.] // Energy. – 2023. – Vol. 279.
 10. Exploration and Analysis of Digital Transformation Path of Power Grid Enterprises Based on Internet of Things / C. Wang [et al.] // Proceedings of the 2nd International Conference on Information Economy, Data Modeling and Cloud Computing, ICIDC 2023, June 2–4, 2023, Nanchang, China. – EAI, 2023. – (ICIDC). – DOI: [10.4108/eai.2-6-2023.2334627](https://doi.org/10.4108/eai.2-6-2023.2334627).
 11. Ren Y., Zhang X., Chen H. The Impact of New Energy Enterprises' Digital Transformation on Their Total Factor Productivity: Empirical Evidence from China // Sustainability. – 2022. – Oct. – Vol. 14, no. 21. – P. 13928. – ISSN 2071-1050. – DOI: [10.3390/su142113928](https://doi.org/10.3390/su142113928).
 12. Yangjun R., Botang L. Impact of digital transformation on renewable energy company's performance: Evidence from China // Sustainability, MDPI. – 2023. – Vol. 10.