

Российский и зарубежный опыт использования цифровых двойников в энергетике

С.Е. Гвоздяный^{1,2} ✉, А.В. Мясков¹

¹ Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»,
119049, Москва, Ленинский просп., д. 4, стр. 1, Российская Федерация

² АО «Выксунский металлургический завод»,
607060, Нижегородская обл., Выкса, ул. бр. Баташевых, д. 45, Российская Федерация
✉ gvozduc@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрена практика применения технологии создания цифровых двойников в энергетической системе зарубежных стран и Российской Федерации. Целью исследования является выделение ключевых областей использования данной технологии, а также лучших российских и зарубежных практик. Среди задач есть анализ факторов внутренней и внешней среды, влияющих на темпы цифровизации в отрасли в целом, и на внедрение технологии цифровых двойников (ЦД), в частности. Акцент при проведении исследования сделан на анализе проблем и преимуществ использования данной технологии для решения региональных энергетических проблем, а также на оценке влияния процессов цифровизации на финансовые показатели энергетических компаний и перспектив дальнейшего расширения использования технологии цифровых двойников в российской энергетической сфере. Рассмотренные в рамках проведенного исследования примеры внедрения цифровых двойников энергетическими компаниями Финляндии, Словакии и России подтверждают высокую эффективность их использования для решения региональных задач энергетики путем повышения производительности и надежности функционирования работы распределительных сетей. Кроме того, проекты цифровизации с использованием ЦД способствуют росту прибыли и уровня рентабельности компаний, расширяя тем самым их дальнейший потенциал для внедрения инновационных технологий.

Ключевые слова: региональная энергетическая политика, цифровые двойники, цифровизация в энергетике, внедрение

Для цитирования: Гвоздяный С.Е., Мясков А.В. Российский и зарубежный опыт использования цифровых двойников в энергетике. *Экономика промышленности*. 2024;17(4):378–387. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2024-4-1368>

Russian and foreign experience of using digital twins in the energy sector

S.E. Gvozdyanyy^{1,2} ✉, A.V. Myaskov¹

¹ National University of Science and Technology “MISIS”,
4-1 Leninskiy Ave., Moscow 119049, Russian Federation

² JSC “Vyksa Metallurgical Plant”,
45 Brat'yev Batashevych Str., Vyksa, Nizhny Novgorod Region 607060, Russian Federation
✉ gvozduc@yandex.ru

Abstract. The article studies the practice of implementing the technology of creating digital twins in the energy system of foreign countries and that of the Russian Federation. The purpose of the study is to identify the key areas of application of the technology as well as the best Russian and international practices. The tasks include analyzing the factors of the internal and external environment that affect the pace of digitalization of the entire industry and implementation

of the digital twin technology in particular. The study focuses on analyzing the problems and benefits of using the technology in solving regional energy problems as well as on evaluation of the impact of digitalization process on financial indicators of energy companies and the prospects for further expanded use of digital twin technology in Russia's energy industry. The practice of implementation of digital twins by energy companies of Finland, Slovakia and Russia studied within the research carried out prove high effectiveness of their application in solving regional tasks of power industry by increasing their productivity and reliability of the distribution networks' performance. Moreover, the projects of digitalization involving digital twins ensure the growth of the companies' profits and profitability increasing their further potential for the implementation of innovation technologies.

Keywords: regional energy policy, digital twins, digitalization in the energy sector, implementation

For citation: Gvozdyanny S.E., Myaskov A.B. Russian and foreign experience of using digital twins in the energy sector. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2024;17(4):378–387. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2024-4-1368>

俄罗斯国内及国外在电力行业应用数字孪生的经验

S.E. 格沃兹佳内^{1,2}✉, A.V. 米亚斯科夫¹

¹ 国立研究型技术大学 MISIS, 119049, 俄罗斯联邦莫斯科列宁区基大街4号1栋

² 维克萨冶金厂股份公司, 607060, 俄罗斯联邦下诺夫哥罗德州维克萨巴塔舍夫兄弟街45号

✉ gvozduc@yandex.ru

摘要: 本文探讨了在俄罗斯国内外能源系统中应用数字孪生技术的实践。研究的目的是确定该技术的主要应用领域, 以及俄罗斯及国外的最佳实践。研究任务包括分析影响整个行业数字化步伐的内部和外部环境因素, 特别是数字孪生技术的引入。研究的重点是分析应用该技术解决区域能源问题的过程中所存在的问题和优势, 以及评估数字化进程对能源公司财务业绩的影响, 以及在俄罗斯能源行业进一步扩大使用数字孪生技术的前景。在本研究框架内分析的芬兰、斯洛伐克和俄罗斯能源公司引入数字孪生的例子证明, 通过提高配电网络运行的生产力和可靠性, 数字孪生在解决区域能源问题方面具有高效率。此外, 使用 CD 的数字化项目有助于公司利润和盈利能力的增长, 从而进一步扩大他们引入创新技术的潜力。

关键词: 区域能源政策、数字孪生、能源行业数字化、运用

Введение

Текущий этап развития мировой экономики неразрывно связан с внедрением инновационных технологий во все ее сферы и сегменты, включая энергетику, где от скорости и качества внедряемых инноваций напрямую зависит снижение или повышение позиций отдельных стран и представляющих их компаний на мировом энергетическом рынке. В Российской Федерации развитие топливно-энергетического комплекса (ТЭК) является как целью укрепления позиций страны в мировой энергетике, так и поддержкой социально-экономического развития собственной экономики, включая развитие регионов.

Разработанная «Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года» предполагает не только снижение затрат на добычу энергоресурсов путем внедрения инновационных цифровых технологий, но и направленность на формирование «интеллектуальной

энергетики» – повышение эффективности функционирования оптового и розничного рынка электроэнергии через развитие научно-технического потенциала отрасли и создание современной инфраструктуры¹.

Среди наиболее перспективных технологий с точки зрения достижения целей «Энергетической стратегии» исследователи обозначают такие технологии, как Интернет вещей (IoT), прогнозирование на основе анализа больших данных (Big Data), облачные вычисления, искусственный интеллект (AI) и др., а также технологию цифровой имитации – цифровых двойников [1], использованию которой в энергетической отрасли и посвящена данная статья.

¹ Распоряжение Правительства РФ от 09.06.2020 № 1523-р (ред. от 21.10.2024) «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года». Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_354840/ (дата обращения: 30.09.2024).

**Понятие и области применения
цифровых двойников в энергетике**

Одним из первых исследователей, который ввел в научную литературу понятие «цифрового двойника», стал американский профессор М. Гривс (М. Greaves), который сформулировал суть данной технологии как формирование виртуального представления (прототипа) любой технической системы, которое содержит в себе всю информацию о данной системе. Согласно данному подходу, цифровой двойник (ЦД) базируется на реальной технологической системе и состоит [2]:

- из модели технической системы в виртуальном пространстве;
- потоков данных (информации), связывающих реальную и виртуальную части технологической системы.

Широкое распространение данная технология получила уже к концу 2010-х годов, когда согласно исследованию консалтинговой компании Gartner, проведенному в 2019 г., технологию ЦД на практике использовали 13 % компаний, реализующих цифровые проекты в сфере промышленности, а еще 62 % компаний находились на этапе разработки ЦД собственных производственных систем [3]. При этом среди организаций и компаний, применяющих технологию ЦД, были отмечены представители таких высокотехнологичных сфер как авионавтика и исследование космоса (NASA), кораблестроение, авиастроение и пр., а также многих других отраслей: от фармацевтической и пищевой до металлургической и энергетической.

По итогам 2023 г. стоимость мирового рынка ЦД достигла уровня более 4,2 млрд долл. США,

а прогнозы на перспективу до 2030 г. предполагают ее дальнейший рост до более чем 9,7 млрд долл. США при среднегодовых темпах роста около 12,7 % [4].

При использовании на объектах ТЭК термин «цифровой двойник» трактуется как виртуальная реплика физического объекта или процесса в энергетике, созданная за счет использования цифровых технологий для моделирования и повышения эффективности функционирования технических систем. Подобные виртуальные реплики в энергетике используются [5]:

- для проведения постоянного мониторинга энергетических систем, их диагностики в целях предотвращения масштабных сбоев и общего повышения уровня безопасности эксплуатации данных систем;
- выявления путей оптимизации расходов на обслуживание и замену оборудования;
- общего роста качества управления активами в энергетике;
- разработки и тестирования инновационных технологий без риска нанесения ущерба реальным объектам.

Исходя из области применения (предназначения) выделяют следующие основные виды ЦД (табл. 1).

Создание любых видов ЦД требует использования технологий облачных вычислений, обработки и хранения данных, систем визуализации и пр., а также применения сенсоров для сбора данных (за исключением отдельных видов прототипов – ДТР). При этом в сфере эксплуатации электрических сетей (как в Российской Федерации, так и в мире) наибольшее распространение получили

Таблица 1 / Table 1

Ключевые виды (группы) цифровых двойников

Key types (groups) of digital twins

Название группы	Наименование и краткое обозначение на английском	Предназначение
Двойники реальных физических объектов	Digital Twin Instance – DTI	Мониторинг и управление реальным физическим объектом на основе сбора информации и моделирования его работы в рамках виртуальной системы
Цифровые двойники-прототипы	Digital Twin Prototype – DTP	Сбор информации в рамках функционирования виртуальной модели будущей технической системы
Вычислительные центры	Digital Twin Aggregate – DTA	Консолидирует и обрабатывает данные, полученные от нескольких DTI, в режиме реального времени или оффлайн
Приложения-симуляторы для работы с цифровыми двойниками	Digital Twin Environment – DTE	Прогнозирование вариантов будущей работы физических систем, выявление уже имеющихся и потенциальных проблем их функционирования

Источник: составлено автором на основе [6]

Source: compiled by the author based on [6]

ЦД группы DTI, которые используются для консолидации, хранения и обработки данных о функционировании энергетической инфраструктуры: от станций до трансформаторов и линий передач электроэнергии, от магистральных до распределительных сетей. Ключевой целью использования технологии ЦД в сфере эксплуатации электрических сетей является минимизация количества аварий [7], снижение времени отсутствия подачи электроэнергии или перебоев с ее подачей.

К числу ключевых параметров, которые отслеживают и помогают регулировать ЦД, можно отнести [8]:

- частота электрического тока, а также напряжение электрической сети;
- активная и реактивная мощность электростанций и компенсаторов;
- потоки мощности в электрических сетях;
- давление, температура пара, нагрузка и другие параметры тепловых электростанций, схожие по смыслу показатели других видов электростанций.

Как правило, цифровые двойники напрямую связаны с автоматическими системами управления, которые на основе обработанных данных ЦД осуществляют регулирование энергетических систем, включая их автоматическое отключение или включение, а также ввод в эксплуатацию резервных объектов энергетики.

Практика применения технологии цифровых двойников в решении региональных энергетических проблем за рубежом

За относительно короткий срок своего существования технология цифровых двойников получила широкое распространение во всех подотраслях энергетики: от генерации электроэнергии до эксплуатации распределительных сетей.

Одним из лидеров в части разработки платформ с использованием цифровых двойников для сферы энергетики стала американская компания General Electric (GE), которая в кооперации с еще одной компанией из США – ANSYS, специализирующейся именно на разработке цифровых двойников для инженерных систем, разработала более 1,2 млн цифровых решений, включающих в себя цифровые двойники различного энергетического оборудования: от турбин и двигателей до станций распределения электроэнергии [9]. В портфеле цифровых двойников компании GE также присутствуют решения, предназначенные для оптимизации использования объектов возобновляемой энергетики: от отдельных ветровых турбин и солнечных станций до ветро- и солнечных парков. Например, внедрение цифрового

двойника в эксплуатацию одного из крупных ветропарков позволило компании GE добиться 5 % роста выработки электроэнергии без изменения физического объекта и замены каких-либо его элементов (оборудования). Эффект был достигнут за счет имитации различных сценариев изменения погодных условий и выбора наиболее подходящих режимов работы ветровых турбин при каждом из них.

Особое место в сегменте генерации электроэнергии занимают цифровые двойники атомных электростанций (АЭС), предназначением которых в первую очередь является обеспечение безопасности их функционирования. Наиболее активно разработкой ЦД для АЭС занимаются страны с развитой атомной энергетикой – Франция и США. В частности, в 2022 г. власти США в лице Министерства энергетики страны выделили 27 млн долл. США на создание цифровых двойников для атомных электростанций², а во Франции усилиями компаний Framatome и EDF Group разработаны модели ЦД, которые своей работой охватывают около 30 % рисков, связанных с потенциальными отказами энергоблоков АЭС [4].

Цифровые двойники для АЭС позволяют не только отслеживать текущие показатели работы реакторов, подавая сигналы о любых отклонениях от нормального функционирования, но и осуществлять прогнозирование возможных проблем, включая необходимость проведения технического осмотра или замены оборудования.

В сегменте эксплуатации магистральных электрических сетей первых значимых успехов еще в 2016 г. добилась компания Fingrid (Финляндия), ключевым акционером которой (67,7 %) выступает государство. Проект данной компании под названием ELVIS (ELectricity Verkko Information System), включающий в себя технологию цифровых двойников, позволил значительно повысить качество управления активами компании, а также обеспечить бесперебойный обмен информацией в процессе планирования и фактической эксплуатации энергосистемы, которая включала в себя на момент внедрения [10]:

- 116 электроподстанций;
- 4,6 тыс. км линий электропередач мощностью 400 кВ;
- 2,2 тыс. км линий электропередач мощностью 220 кВ;
- 7,6 тыс. км линий электропередач мощностью 110 кВ.

² Министерство энергетики США (DOE). Режим доступа: <https://www.atomic-energy.ru/DOE///> (дата обращения: 08.08.2024).

С экономической точки зрения внедрение ЦД в компании Fingrid позволило значительно повысить уровень производительности системы и уровень надежности ее функционирования за счет оперативного анализа данных, что в итоге сократило уровень затрат и повысило прибыль [11].

В свою очередь, в сегменте распределительных электрических сетей одним из первых успешных проектов цифровизации с использованием цифровых двойников стал проект компании VSE Group (Словакия), которая входит в состав European RWE Group. За счет разработанного ЦД электрической сети компания полностью заменила процессы расчетов вручную (при затратах на создание модели электрической системы на уровне около 500 чел.) на автоматически работающий расчетный комплекс. Это позволило значительно повысить качество анализа работы распределительной сети, которая охватывала около 1/3 от общей территории восточной Словакии (16,2 тыс. км²) и обеспечивала электроэнергией более 610 тыс. домохозяйств [12].

Таким образом, практика использования цифровых двойников в энергетике проанализированных зарубежных стран охватывает все ее основные сегменты: от различных типов генерирующих объектов (электростанций) до магистральных и распределительных сетей.

Опыт использования цифровых двойников в регионах России

На протяжении длительного периода времени лидерами с точки зрения внедрения технологии цифровых двойников в российском сегменте выступали крупнейшие вертикально-интегрированные компании [12], которые использовали ее для создания «цифровых скважин», «цифровых перерабатывающих заводов» и пр.

Например, в 2020 г. компания ПАО «Газпром» создала ЦД газопровода «Сила Сибири», предназначением которого стал контроль над работой газотранспортной системы, предотвращение ее простоев и аварийных ситуаций, а ее дочерняя компания – «Газпромнефть-Заполярье» запустила в работу ЦД компрессорной станции на Чаяндинском нефтегазовом месторождении³. Полученные компанией результаты были настолько впечатляющими, что уже в 2023 г. компания «Газпром нефть» объявила о формировании но-

вой бизнес-модели, обязательной частью которой будут выступать цифровые двойники⁴.

Собственные проекты, предусматривающие использование технологии ЦД, запустила и компания «Росэнергоатом» (подразделение государственной корпорации «Росатом»). В частности, в 2020 г. она внедрила комплекс «Виртуальная цифровая АЭС», который позволяет прогнозировать различные сценарии развития ситуации на генерирующем объекте при реализации разных режимов ее работы, возникновения различных непредвиденных ситуаций и пр. Особенностью подобных проектов является использование специализированных датчиков отслеживания параметров функционирования АЭС, так как «обычные» датчики в условиях высокой радиации крайне быстро выходят из строя [4].

Важно отметить, что пилотные проекты по внедрению цифровых решений «Росэнергоатом» проводил на наиболее удаленных станциях (например, на Кольской АЭС, Мурманская область). И лишь в случае получения положительного эффекта цифровые решения распространялись на другие объекты корпорации. Кроме того, особо пристальное внимание в компании уделяется формированию цифровых компетенций у персонала⁵, что создает основу для дальнейшего повышения эффективности внедрения цифровых решений в целом и технологии цифровых двойников, в частности.

При этом задачи в части цифровой трансформации стоят не только перед отдельными компаниями или российским государством в целом, но и перед властями регионов Российской Федерации. В частности, в рамках выполнения Указа Президента РФ⁶ в период до сентября 2021 г. все регионы страны должны были разработать собственные стратегии цифровой трансформации, охватывающие все ключевые сферы экономики и общественной жизни. Как правило, подобные стратегии регионов РФ включают в себя следующие три ключевые направления [13]:

– внедрение цифровых технологий в государственном секторе (включая государственные корпорации);

⁴ Газпром нефть; цифровые двойники – шаг к новой бизнес-модели. 25.09.2023. Режим доступа: <https://www.eprussia.ru/news/base/2023/5663502.htm?ysclid=m2xbmao0kr540853961> (дата обращения: 09.08.2024).

⁵ Цифровизация Росэнергоатома: революция не опасна, эволюция неизбежна. 28 января 2019. Режим доступа: <https://up-pro.ru/library/strategi/tendencii/cyfroviz-rosatom///> (дата обращения: 09.08.2024).

⁶ Указ Президента Российской Федерации от 21.07.2020 № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года». Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45726///> (дата обращения: 10.08.2024).

³ Газпромнефть-Заполярье создала цифровой двойник КС Чаяндинского месторождения. 25 августа 2020. Режим доступа: <https://neftegaz.ru/news/oilfield/627585-gazpromneft-zapolyare-sozdala-tsifrovoy-dvoynik-ks-chayandinskogo-mestorozhdeniya/?ysclid=lpnaaeiol258244852///> (дата обращения: 09.08.2024).

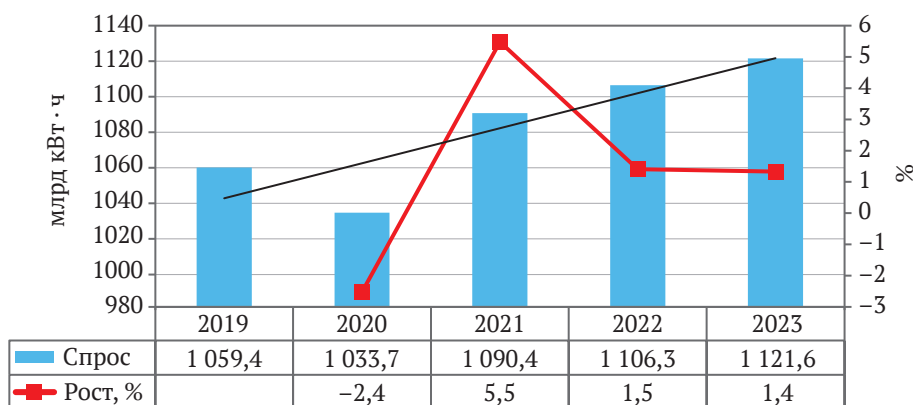


Рис. 1. Динамика спроса на электроэнергию в Единой энергетической системе России в период 2019–2023 гг.

Источник: составлено авторами на основе данных Россети. Отраслевые тенденции. Режим доступа: <https://ar23.rosseti.ru/ru/strategic-report/market-review/industry-related-trends///> (дата обращения: 10.08.2024).

Fig. 1. Dynamics of electricity demand in the Unified Energy System of Russia in the period 2019–2023

Source: compiled by the authors based on data from Rosseti. Industry Trends. Available at: <https://ar23.rosseti.ru/ru/strategic-report/market-review/industry-related-trends///> (accessed on 10.08.2024).

- поддержка цифровизации сегмента неформальной экономики;
- содействие цифровой трансформации частных компаний.

Как правило, поддержка процессов цифровизации в частных компаниях со стороны региональных властей выражается в организации различного рода консультаций и обучающих программ, а также в форме прямой финансовой поддержки (особенно – малых и средних предприятий).

Актуальность решения задач цифровой трансформации энергетической сферы Российской Федерации существенно повысилась на фоне текущего геополитического и геоэкономического кризиса, который уже привел не только к значительной трансформации экономики страны (в пользу роста объемов промышленного производства), но и к соответствующему росту спроса на электроэнергию (рис. 1).

Среди региональных подсистем, входящих в Единую Энергетическую Систему (ЕЭС) России, спрос на электроэнергию наиболее высокими темпами в 2023 г. относительно показателей 2022 г. увеличивался⁷:

- объединенная энергетическая система (ОЭС) Сибири (+5,3%);
- ОЭС Юга (+2,5%);
- ОЭС Центра (+2,3%);
- ОЭС Урала (+2,3%).

⁷ Отчет о функционировании ЕЭС России в 2023 году (на основе оперативных данных). Режим доступа: https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2024/ups_rep2023.pdf/// (дата обращения: 11.08.2024).

Очевидно, что внедрение технологии ЦД в крупных компаниях ТЭК РФ напрямую затрагивает и задачи обеспечения энергетической безопасности, повышения экономической конкурентоспособности регионов. Однако одной из наиболее важных среди стоящих перед региональными властями задач является обеспечение высокого уровня доступности и бесперебойной подачи электроэнергии как для населения, так и для всех сегментов экономики регионов. В качестве одного из способов решения данной задачи и рассматривается внедрение технологии цифровых двойников на объектах генерации в регионах, а также на магистральных и распределительных сетях.

Поскольку в структуре генерации электроэнергии в России ключевую роль играют тепловые электростанции (ТЭС) – на их долю в 2022 г. пришлось 60,37% от общего объема выработки электроэнергии и 66,14% от общего объема установленной мощности всех электростанций⁸ – внедрение технологии цифровых двойников в сегменте генерации в регионах России получило наибольшее распространение именно в части создания ЦД ТЭС.

В частности, по заказу «Мосэнерго» компания «КРОК Инкорпорейтед» провела работы по моделированию одной из крупнейших ТЭС Москвы в целях оптимизации режимов ее

⁸ Единая энергетическая система России. Режим доступа: <https://www.so-ups.ru/functioning/ees/ups2022///> (дата обращения: 11.08.2024).

функционирования. Итогом внедрения ЦД стало снижение затрат на топливо и общее повышение уровня эффективности работы станции за счет роста показателя точности отображения параметров работы реальной системы и цифрового двойника (расхождение не более 2%), а также оптимизации графика почасовой загрузки ТЭЦ с учетом таких факторов, как прогноз погоды и динамики потребления электроэнергии⁹.

Первые попытки внедрения цифровых двойников предпринимаются и в других сегментах электрогенерации России. Например, в целях обеспечения электроэнергией поселка Тикси в таком сложном с климатической точки зрения регионе Арктики как Республика Саха (Якутия) подразделение холдинга «РусГидро» рассматривало три основных варианта: дизельную электростанцию (ЭС), ветродизельную ЭС и ветродизельную ЭС + ЦД. Последний вариант отличался наибольшей стоимостью и наиболее высокими затратами на заработную плату обслуживающего персонала (табл. 2).

По итогам проведенных расчетов экономической эффективности, несмотря на более высокий уровень первоначальных затрат и затрат на заработную плату, был выбран именно проект ветродизельной ЭС с цифровым двойником, поскольку он обеспечивает более высокий уровень доходности в долгосрочной перспективе.

Что касается внедрения технологии в сегментах магистральных и распределительных электросетей, то здесь значимых результатов удалось добиться компании «Россети Янтарь» в рамках пилотного проекта на Мамонтовском участке Западных электрических сетей – использование здесь технологии цифрового двойника позволило:

- снизить среднее время на восстановление подачи электроэнергии после аварий в 5,5 раза [10];
- сократить потери электроэнергии в 2,5 раза [11].

Пятилетняя программа реконструкции и развития электрических сетей компании «Россети Янтарь» с общим объемом инвестиций в размере 22,17 млрд руб. была завершена в 2020 г.¹⁰,

⁹ Работающая магия. Цифровые двойники и их применение в энергетике. Режим доступа: <https://www.energovektor.com/energoznanie-rabotayuschaya-magiya.html?ysclid=Izodyw46yi727149280///> (дата обращения: 07.08.2024).

¹⁰ Годовой отчет АО «Янтарь Энерго» за 2020 год (маркетинговый бренд с 2019 г. «Россети Янтарь»). Режим доступа: https://rosseti-yantar.ru/upload/iblock/f9a/_-_-_-2020-_.pdf/// (дата обращения: 07.08.2024).

включая реализацию очередного этапа программы «Цифровой трансформации 2030» и пилотный проект по внедрению ЦД. Для оценки общей эффективности данной программы рассмотрим динамику таких ключевых показателей эффективности деятельности компании как выручка, валовая прибыль и коэффициент рентабельности по валовой прибыли (рис. 2).

Представленные в таблице данные позволяют сделать вывод, что реализованная компанией инвестиционная программа, включающая пилотный проект по внедрению ЦД, позволила, начиная с 2020 г., сформировать устойчивый растущий тренд как по показателю выручки (+246,1 % по итогам 2023 г. в сравнении с 2020 г. и +10,9 % по итогам 2023 г. в сравнении с 2022 г.), так и по показателю валовой прибыли (+265,7 % по итогам 2023 г. в сравнении с 2020 г. и +3,3 % по итогам 2023 г. в сравнении с 2022 г.).

При этом, несмотря на некоторое снижение показателя коэффициента рентабельности по валовой прибыли, значения данного показателя на протяжении периода 2021–2023 гг. (с 15,0 % в 2021 г. до 13,3 % в 2023 г.) находятся выше значения в 2020 г. (12,6 %).

Таким образом, можно констатировать, что, несмотря на относительно небольшой опыт внедрения технологии цифровых двойников в энергетике России, реализованные пилотные проекты демонстрируют высокие показатели эффективности, что увеличивает интерес других компаний – представителей ТЭС к их внедрению.

Таблица 2 / Table 2

Сравнение экономической эффективности проектов ЭС для п. Тикси (Якутия), тыс. руб.

Comparison of economic efficiency of power plant projects for Tiksi (Yakutia) (thousand rubles)

Показатель	Проект		
	ДЭС	ВДЭС	ВДЭС + ЦД
Стоимость	8 264,4	24 300,0	44 300,0
Заработная плата	180,0	180,0	360,0
Расходы топлива, л/ч	100	70	60
Чистый дисконтированный доход	–	84 908,3	267 559,7
Индекс доходности	–	4,50	7,03
Срок окупаемости	–	20 лет	20 лет

Источник: составлено автором на основе [14]

Source: compiled by the author based on [14]

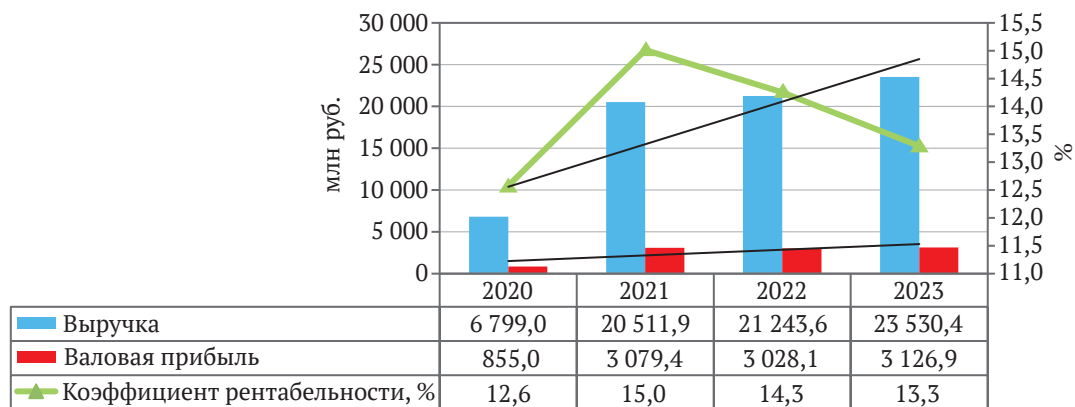


Рис. 2. Динамика выручки, валовой прибыли и коэффициента рентабельности по валовой прибыли компании «Россети Янтарь» в период 2019–2023 гг.

Источник: составлено автором на основе данных «Финансовая и годовая отчетность компании «Россети Янтарь». Режим доступа: <https://rosseti-yantar.ru/raskrytie-informatsii/raskrytie-informatsii-obshchestvom/finansovaya-i-godovaya-otchetnost/?year=2021&old=y///> (дата обращения: 08.08.2024).

Fig. 2. Dynamics of revenue, gross profit and profitability ratio by gross profit of Rosseti Yantar in the period 2019–2023

Source: compiled by the author based on data from the Financial and annual statements of Rosseti Yantar.

Available at: <https://rosseti-yantar.ru/raskrytie-informatsii/raskrytie-informatsii-obshchestvom/finansovaya-i-godovaya-otchetnost/?year=2021&old=y///> (accessed on 08.08.2024).

Оценка перспектив дальнейшего развития технологии цифровых двойников для решения задач региональной энергетической политики в Российской Федерации

Помимо уже отмеченного выше тренда на рост использования технологии цифровых двойников как в мировой энергетике, так и в энергетике Российской Федерации, на протяжении 2010-х и начала 2020-х годов, а также общего роста спроса на электроэнергию в России в условиях текущего геополитического и геоэкономического кризиса, перспективы дальнейшего внедрения данной технологии в стране создают:

- ускорение темпов развития отечественных ИТ-компаний;
- рост инвестиций компаний ТЭК в инновационное развитие (включая проекты цифровизации);
- внедрение цифровых технологий в энергетике на уровне рядовых потребителей.

Вводимые со стороны стран Запада санкции еще с 2014 г. преследовали своей целью ограничение доступа российских компаний ТЭК к инновационным технологиям и высокотехнологичному оборудованию, что вынуждало их ускорять реализацию собственных инновационных проектов, а власти страны – принимать меры по стимулированию научно-технического развития. Только за период с 2022 г. (начала текущего геополитического кризиса) среди ключевых нормативно-правовых актов, направленных на разви-

тие отечественных инновационных разработок можно обозначить:

- «Концепцию технологического развития на период до 2030 г.»¹¹;
- Федеральный закон «О развитии технологических компаний в Российской Федерации»¹².

Повышенное внимание к развитию высокотехнологичных компаний позволило существенно увеличить их вклад в валовой внутренний продукт (ВВП) РФ. В частности, если в 2013 г. он находился на уровне 21,0 % ВВП, то в 2023 г. достиг уровня 23,5 % (+2,5 % за 10 лет)¹³.

Что касается внедрения цифровых технологий на уровне потребителей, то здесь важные шаги стали предприниматься с 2017 г. путем внедрения «умных счетчиков», постепенный рост числа которых создает перспективу для постоянного роста массивов информации об объемах и динамике потребления электроэнергии, т.е. базы для анализа цифровых двойников рас-

¹¹ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 20.05.2023 № 1315-р. Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202305250050///> (дата обращения: 11.08.2024).

¹² Федеральный закон от 04.08.2023 № 478-ФЗ «О развитии технологических компаний в Российской Федерации» (часть I). Ст. 6210. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_454055/ (дата обращения: 11.08.2024).

¹³ Росстат: Технологическое развитие отраслей экономики. Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/folder/11189///> (дата обращения: 11.08.2024).

пределительных сетей в России. Определенные сложности после 2022 г. возникли в части необходимости замены отдельных компонентов данных счетчиков, которые ранее закупались за рубежом. Данный аспект также требует ускорения темпов импортозамещения в отрасли, а также увеличения затрат энергетических компании на повышение квалификации персонала, занимающегося монтажом и обслуживанием обновленных счетчиков и систем, работающих с поступающими от них данными [8].

Заключение

Проведенный анализ российского и зарубежного опыта использования цифровых двойников в энергетике показал, что, несмотря на относительно небольшой срок развития данной технологии (с начала 2010-х годов), она уже получила свое развитие как в сегменте генерации электроэнергии (включая все виды электрогенерации: от тепловых и атомных станций до объектов возобновляемой энергетики), так и в сегментах эксплуатации магистральных и распределительных электрических сетей.

В российском ТЭК лидерство с точки зрения внедрения технологии цифровых двойников принадлежит крупным вертикально-интегрированным компаниям, которые используют ЦД практически во всех бизнес-процессах, тогда как решение задач регионального экономического и энергетического развития требует вовлечения в данный процесс более широкого круга компаний, включая малые и средние.

Рассмотренные в рамках статьи примеры внедрения ЦД в компаниях энергетической отрасли демонстрируют их эффективность как в части повышения уровня производительности системы и уровня надежности ее функционирования за счет оперативного анализа данных, так и в части общего сокращения уровня затрат и повышении прибыли (пример компании Fingrid, Финляндия), а рассмотренных пример проекта по цифровизации с использованием ЦД компании VSE Group (Словакия) подтверждает эффективность применения технологии для повышения качества анализа работы распределительной сети.

В свою очередь, реализация комплексной программы реконструкции и развития электрических сетей компании «Россети Янтарь», завершенная в 2020 г. и включавшая в себя пилотный проект по внедрению цифрового двойника, свидетельствует о положительном влиянии подобных инновационных программ на такие ключевые показатели энергетической компании как выручка, валовая прибыль и коэффициент рентабельности по валовой прибыли, которые за период 2020–2023 гг. значительно выросли.

Перспективы для дальнейшего распространения данной технологии создают как уже достигнутые успехи пилотных проектов по внедрению ЦД и общий рост спроса на электроэнергию в стране, так и общее ускорение темпов научно-технологического развития в России, вызванное сложившимися после 2014 и 2022 гг. кризисными условиями.

Список литературы / References

1. Молчанов А.А. Цифровизация в области энергоснабжения. Энергетическое право: модели и тенденции развития. В: *Сб. матер. 2-й Междунар. науч.-практ. конф. Белгород, 12–13 ноября, 2020 г.* Под ред. А.В. Габова. Белгород: Изд. дом «Белгород»; 2021. С. 139–141.
2. Grieves M. Digital twin: Manufacturing excellence through virtual factory replication. *Digital Twin White Paper*. 2014;(1):1–7.
3. Стариков Е.Н. Цифровые двойники: содержание и особенности развития концепции в России. В сб.: *Матер. 4-го Уральского экономического форума «Урал – драйвер неоиндустриального и инновационного развития России».* Екатеринбург, 20–21 октября, 2022 г. Екатеринбург: УрГЭУ; 2022. С. 192–196.
4. Сеницын С.Н. Необходимость создания цифровых двойников в России. *Экономика и управление: проблемы, решения.* 2024;1(3(142)):77–84. <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2024.03.01.008>
5. Sinitsyn S.N. The need for creating digital twins in Russia. *Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya.* 2024;1(3(142)):77–84. (In Russ.). <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2024.03.01.008>
5. Щербенев Н.А. Цифровые двойники: от концепции до промышленной эксплуатации. В сб.: *Матер. 9-й Нац. науч.-практ. конф., посвящ. 55-летию КГЭУ «Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве».* Казань, 7–8 декабря 2023 г. Казань: КазГЭУ; 2024. С. 446–448. <https://www.osp.ru/os/2022/04/13056597>
6. Абазьева М.П. Цифровые двойники: концепция, возможности, перспективы. *Наука и бизнес: пути развития.* 2019;(5(95)):210–212. Abazyeva M.P. Digital twins: concept, opportunities, perspectives. *Nauka i biznes: puti razvitiya.* 2019;(5(95)):210–212. (In Russ.)
7. Фомин К.Д. Цифровой двойник в электрических сетях. В сб.: *Труды 16-й Всеросс. открытой*

- молодеж. науч.-практ. конф. «Диспетчеризация и управление в электроэнергетике». Казань, 20–21 октября 2021 г. Казань: ООО «Изд.-полиграф. компания «Бриг»; 2022. С. 233–235.
8. Найденов Д.Н., Мясоедова М.А. К вопросу внедрения современных технологий в энергетике. В: *Сб. матер. 3-й Междунар. науч.-практ. конф. «Интеграция образования, науки и практики в АПК: проблемы и перспективы»*. Луганск, 23–24 ноября, 2023 г. Луганск: ЛугТАУ им. К.Е. Ворошилова; 2023. С. 296–299.
 9. Суханова М. Работающая магия. Цифровые двойники и их применение в энергетике. *Энерговектор*. 30.12.2019. Режим доступа: <https://www.energovector.com/energoznanie-rabotayuschaya-magiya.html?ysclid=Izodyw46yi727149280//>
 10. Никитина Е.В., Полуэктов А.Н., Кох С. Цифровой двойник для электрических сетей. *Энергия единой сети*. 2019;(4(46)):32–36.
Nikitina E.V., Poluektov A.N., Kokh S. Digital twin for electrical networks. *Energiya edinoi seti*. 2019;(4(46)):32–36. (In Russ.)
 11. Мухлина Е.С., Логачева А.Г. Будущее цифровых двойников в энергетике. В сб.: *Матер. 15-й Всеросс. открытой молодеж. науч.-практ. конф. «Диспетчеризация и управление в электроэнергетике»*. Казань, 21–22 октября, 2020 г. Казань: КазГЭУ; 2020. С. 354–356.
 13. Tomcik J., Mento P., Serdula J. Distributed generation drives system planning. *Transmission & Distribution World. Russian Edition*. 2013;(3):18. Available at: <https://eepir.ru/release/transmissiondistribution-world-russian-edition-3-ijun-2013/?ysclid=m3y5pv8bf604996162>
 13. Новицкий П.А. Уровень развития технологии цифровых двойников в РФ и меры ее поддержки государством. *Транспортное дело России*. 2020;(4):20–21.
Novitsky P. The level of development of digital twins technology in the Russian federation and measures of its support by the state. *Transportnoe delo Rossii*. 2020;(4):20–21. (In Russ.)
 14. Мочалов Я.Г. Применение цифровых двойников с использованием гибридной ветродизельной электростанции на арктическом шельфе для обеспечения нефтяных вахтовых поселков. *Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития*. 2023;(4(75)):67–75. <https://doi.org/10.52897/2411-4588-2023-4-67-75/>
Mochalov Ya. G. The use of digital twins using a hybrid wind-diesel power plant on the Arctic shelf to provide shift settlements for oil workers. *Ekonomika Severo-Zapada: problemy i perspektivy razvitiya = Economy of the North-West: Problems and Prospects of Development*. 2023;(4(75)):67–75. (In Russ.). <https://doi.org/10.52897/2411-4588-2023-4-67-75>

Информация об авторах

Семен Евгеньевич Гвоздяный – аспирант, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», 119049, Москва, Ленинский просп., д. 4, стр. 1, Российская Федерация; АО «Выксунский металлургический завод», 607060, Нижегородская обл., Выкса, ул. бр. Баташевых, д. 45, Российская Федерация; e-mail: gvozduc@yandex.ru

Александр Викторович Мясков – д-р экон. наук, профессор, директор Горного института, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», 119049, Москва, Ленинский просп., д. 4, стр. 1, Российская Федерация; e-mail: rumyaskov@misis.ru

Information about the authors

Semyon E. Gvozdyanyy – Postgraduate Student, National University of Science and Technology “MISIS”, 4-1 Leninskiy Ave., Moscow 119049, Russian Federation; JSC “Vyksa Metallurgical Plant”, 45 Brat'yev Batashevyykh Str., Vyksa, Nizhny Novgorod Region 607060, Russian Federation; e-mail: gvozduc@yandex.ru

Alexander V. Myaskov – Dr.Sci. (Econ.), Professor, Director of the Mining Institute, National University of Science and Technology “MISIS”, 4-1 Leninskiy Ave., Moscow 119049, Russian Federation; e-mail: rumyaskov@misis.ru

Поступила в редакцию 13.10.2024; поступила после доработки 15.11.2024; принята к публикации 27.11.2024

Received 13.10.2024; Revised 15.11.2024; Accepted 27.11.2024