

УДК 004.9

ВЛИЯНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ НА ПРОЦЕССЫ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ

Ковальчук К.А.,

магистрант,

*Национальный исследовательский Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород, Россия*

Ратафьев С.В.,

*канд. техн. наук, доц., кафедра информационных технологий и
инструментальных методов в экономике,*

*Национальный исследовательский Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород, Россия*

Аннотация.

В статье рассматривается роль внедрения цифровых двойников в энергетическую систему. Описаны ключевые преимущества: повышение надежности электроснабжения, оптимизация эксплуатации оборудования, сокращение затрат и обеспечение соответствия нормативным требованиям. Отдельное внимание уделено проблеме несоблюдения ГОСТ в сфере электроснабжения населения и возможности цифровых двойников служить инструментом контроля качества и надежного энергоснабжения. В конце сделаны выводы о проделанной работе.

Ключевые слова: цифровой двойник, энергетика, управление, ГОСТ, электроснабжение, цифровизация.

THE INFLUENCE OF DIGITAL TWINS ON ENERGY MANAGEMENT PROCESSES

Kovalchuk K.A.,

Master 's student,

N.I. Lobachevsky National Research Nizhny Novgorod State University,

Nizhny Novgorod, Russia

Ratafyev S.V.,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Information Technologies and Instrumental Methods in Economics,

N.I. Lobachevsky National Research Nizhny Novgorod State University,

Nizhny Novgorod, Russia

Annotation.

The article examines the role of introducing digital twins into the energy system. The key advantages are described: increasing the reliability of power supply, optimizing equipment operation, reducing costs and ensuring compliance with regulatory requirements. Special attention is paid to the problem of non-compliance with GOST in the field of electricity supply to the population and the possibility of digital twins to serve as a tool for quality control and reliable energy supply. In the end, conclusions are drawn about the work done.

Keywords: digital twin, energy, management, GOST, electricity supply, digitalization.

В современном мире электроэнергетическая отрасль сталкивается со множеством различных проблем. Главный фактор, влияющий на электроэнергетику - количество потребляемой электроэнергии населением, который в последние годы кратно вырос и продолжает увеличиваться.

Существующий мир и сложившаяся ситуация накладывают на отрасль обязанность активного внедрения информационных и аналитических решений.

Главной задачей электроэнергетики в настоящее время является развитие цифровых технологий. Одним из ключевых решений данной проблемы становится концепция цифровых двойников. Согласно ГОСТ Р 57700.37-2021, цифровой двойник – это система, состоящая из цифровой модели изделия и двусторонних информационных связей с изделием и его составными частями [5]. Создается модель, в основе которой лежат полученные данные с различных сенсоров и датчиков, задается информация о проектировании и эксплуатации объекта. Основным преимуществом использования данной концепции является не только возможность отслеживать текущие параметры, но и прогнозировать будущее состояние системы на основе анализа данных в реальном времени. Применение цифровых двойников в энергетике возможно на всех уровнях управления – начиная от отдельных элементов оборудования заканчивая крупными распределительными сетями и энергоблоками. Их внедрение позволит спрогнозировать поведение системы, оптимизирует эксплуатационные параметры и значительно снизит издержки.

Цель данной работы – обозначить современные проблемы, с которыми сталкивается электроэнергетика в условиях нормативно-правового регулирования, проанализировать влияние цифровых двойников на процессы управления в энергетической отрасли.

Ключевым звеном в структуре электроснабжения являются распределительные электрические сети. Именно через них электроэнергия поступает от трансформаторных подстанций среднего напряжения непосредственно к конечным потребителям — жилым домам, предприятиям малого и среднего бизнеса, объектам социальной и городской инфраструктуры.

Именно от их состояния напрямую зависит стабильность, надёжность и качество электроснабжения.

В отличие от магистральных и высоковольтных сетей, которые характеризуются высокой степенью автоматизации, распределительные сети нередко обслуживаются по устаревшим методикам. Причина этого заключается в сложности управления и высоких затратах на цифровизацию процессов.

Большинство линий и подстанций были построены еще в советский период и с тех пор не подвергались капитальной модернизации. Как правило, с проблемой роста потребления электроэнергии часто сталкиваются в густонаселённых районах и новостройках. Так, активное строительство многоквартирных высотных жилых домов в городах является одним из факторов, влияющих на изменение нагрузки. В таких зданиях, согласно требованиям СП 42.13330.2016 «Свод правил. Газораспределительные системы» запрещается использовать газоснабжение выше 28м [10]. Это означает, что в подобных домах в квартирах устанавливают электроплиты, что приводит к резкому увеличению потребления электрической энергии, а, следовательно, повышает требования к распределительным сетям.

Если ранее основная нагрузка в квартире формировалась преимущественно за счёт освещения, то сегодня наблюдается кардинальное изменение структуры потребления. Это регламентирует ГОСТ Р 50571.5.52-2011, который предъявляет требования к расчёту допустимых токов нагрузки и защите от перегрузки [3]. Помимо освещения, современная квартира оснащена большим количеством энергоёмкой техники: бойлеры, кондиционеры, стиральные машины, системы «тёплый пол», зарядные устройства, системы умного дома. Это увеличивает мощностную нагрузку с 1–2 кВт (в советских расчётах) до 6–15 кВт в зависимости от планировки и оснащённости [1].

Также немаловажным является такой физический фактор, как устаревание оборудования, которое в свою очередь требует дорогостоящего ремонта и часто может выходить из строя без предупреждения. Трансформаторы, кабельные линии, коммутационные устройства и щитовые установки эксплуатируются значительно дольше нормативных сроков службы. Это противоречит ГОСТ 54149-2010, который определяет требования к надежности электроустановок [4]. Износ оборудования увеличивает риск отказов, нарушает тепловой режим и приводит к пробоям изоляции. Поэтому точное прогнозирование и надежное проектирование в данной ситуации затруднено.

По мимо прочего современный пользователь требует должного качества получаемой услуги, то есть имеется необходимость повышения надежности электроснабжения. Такие параметры сети как напряжение, частота, коэффициент искажения и др. регламентируются ГОСТ 32144-2013 и должны находиться в строго определённых пределах [2]. Однако при отсутствии автоматизированного мониторинга зафиксировать и подтвердить факты отклонений проблематично. Особенно часто наблюдаются просадки напряжения в периоды пиковой нагрузки, что нарушает требуемый диапазон допустимых отклонений.

Текущая ситуация усугубляется тем, что отсутствует централизованная информационная система, которая могла бы в реальном времени контролировать параметры сети, собирать данные и уведомлять операторов об актуальных и потенциальных отклонениях [6]. Мощным инструментом, способным решить перечисленные проблемы является технология цифрового двойника, которая позволит за счет интеграции данных с физического оборудования применить алгоритмы прогнозирования и принять обоснованные решения без вмешательства в реальную систему.

Сама архитектура цифрового двойника состоит из нескольких уровней:

1. Физический уровень – состоит из реальных элементов энергосистемы, таких как трансформаторы, подстанции, генераторы, линии электропередач и тд. Именно в зависимости от их состояния, поведения и параметров будет осуществляться моделирование и передача информации в цифровую модель. Ключевыми элементами данного уровня являются различного рода датчики, системы сбора данных и исполнительные механизмы.
2. Канал передачи данных – коммуникационная инфраструктура, обеспечивающая передачу данных от физического объекта к цифровой модели и обратно.
3. Уровень цифрового моделирования – математические и физические модели, отражающие функционирование оборудования и систем.
4. Уровень визуализации и управления – позволяет операторам взаимодействовать с цифровым двойником.
5. Интеграционный уровень – осуществляется взаимодействие с другими системами предприятия.

Использование такой структуры позволит обеспечить непрерывную синхронизацию между реальным и виртуальным объектом, что в свою очередь будет гарантировать актуальные данные и поддерживать высокую точность прогноза [5].

Таким образом технологию цифрового двойника в первую очередь можно применять для проведения постоянного мониторинга энергетических систем, их диагностики для предотвращения масштабных сбоев и в целом повышать уровень безопасности эксплуатации сети. Такое введение позволит организациям отойти от привычной практики ремонта оборудования по графику и перейти к более целесообразному обслуживанию в зависимости от его состояния. Это позволит продлить ресурс эксплуатируемого оборудования и оптимизировать издержки. Кроме того, это особенно актуально в условиях

интеграции возобновляемых источников энергии, таких как солнечные и ветряные электростанции, выработка которых нестабильна и требует гибкого регулирования [9].

Например, в случае нарастающего отклонения в работе генератора, что указывает на потенциальную поломку, цифровой двойник способен своевременно предложить меры для ее предотвращения. То есть оператор имеет возможность в режиме реального времени наблюдать за состоянием системы, а также спрогнозировать поведение системы в будущем. Использование данной технологии позволяет выйти на совершенно новый уровень удаленного мониторинга, при этом стоит отметить, что тестирование системы происходит совершенно без риска нанесения ущерба реальным объектам.

Важно отметить, что цифровые двойники способствуют повышению устойчивости энергетических систем. При помощи них можно заранее оценить последствия аварийных ситуаций и выстроить надежный алгоритм управления.

Немаловажную роль цифровой двойник играет в обучении персонала. Система дает возможность сотруднику отработать порядок действий в неплановых ситуациях без риска для реального оборудования [8]. Так, например, основными тренировками для диспетчеров может являться локализация аварий, переключение схем, восстановление питания и др.

С точки зрения кибербезопасности, цифровые двойники могут служить важным инструментом тестирования устойчивости систем управления. Используя цифровую модель, можно моделировать кибератаки, анализировать реакцию системы, отрабатывать сценарии резервирования и восстановления. В условиях растущих угроз критической инфраструктуре энергетики такой подход становится необходимым элементом стратегии безопасности.

Таким образом, цифровые двойники становятся важным элементом устойчивого развития энергетики. Они позволяют объединить физический и цифровой мир, создать такую модель энергетической системы, которая может адаптироваться к быстро меняющимся условиям [7]. Обеспечивая высокий уровень прозрачности, моделируя и прогнозируя поведение энергетических объектов, помогают снизить затраты и повысить надежность энергоснабжения и все это в условиях усложняющейся структуры энергосистем и роста нагрузки.

Цифровые двойники могли бы стать эффективным инструментом мониторинга соблюдения нормативов, выявления отклонений и оперативного реагирования. Однако их внедрение осложняется отсутствием специализированной нормативной базы, регулирующей создание и использование цифровых моделей в энергетике. Существующие ГОСТ, хоть и регламентируют процессы автоматизации и информационной безопасности, не учитывают особенностей цифровых двойников как постоянно синхронизируемых и обучаемых систем.

Потенциал цифровых двойников может быть реализован только при условии комплексного подхода — обновления нормативной базы с учётом реальных условий распределительных сетей, создания обязательных регламентов по обеспечению нормативного электроснабжения, формирования открытых стандартов на цифровые модели, а также повышения культуры технической эксплуатации. В конечном счёте, внедрение цифровых двойников должно стать не только технологическим прогрессом, но и способом гарантировать, что электроснабжение населения будет соответствовать установленным ГОСТам и действительно обеспечит качество жизни, энергетическую стабильность и безопасность граждан.

Библиографический список:

1. Воропай Н. И. Надежность систем электроснабжения. Новосибирск : Наука, 2015. 208 с.
2. ГОСТ 32144—2013. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
3. ГОСТ Р 50571.5.52— 2011. Электроустановки низковольтные.
4. ГОСТ Р 54149— 2010. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
5. ГОСТ Р 57700.37–2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения.
6. Моравель В.И., Борисов В.А. Возможности использования цифровых двойников в задачах электроэнергетики [Электронный ресурс] // Электронной научно-практический журнал «Современные научные исследования и инновации» URL: <https://web.snauka.ru/issues/2022/06/98404> (Дата обращения: 26.05.2025).
7. Надежность систем энергетики (сборник рекомендуемых терминов). М. : ИАЦ «Энергия», 2007. 192 с.
8. ОСТ 34.601-90 Информационная технология (ИТ). Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания.
9. Папков Б. В. Активные элементы потребителей в электроэнергетической системе // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. Вып. 66. Актуальные проблемы надежности систем энергетики. Минск : БНТУ, 2015. С. 218–225.
10. Прохоров А., Лысачев М. Научный редактор профессор Боровков А. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. Издание первое, исправленное и дополненное. – М.: ООО «АльянсПринт», 2020. – 401 стр., ил.

11. СП 42.13330.2016. Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89 (утв. Приказом Минстроя России от 30.12.2016 N 1034/пр).

Оригинальность 77%