

УДК 621.31

Савина Наталья Викторовна

Амурский государственный университет

г. Благовещенск, Россия

E-mail: nataly-savina@mail.ru**Покровский Денис Сергеевич**

Амурский государственный университет

г. Благовещенск, Россия

E-mail: kladfl368@gmail.com**N. V. Savina**

Amur State University

Blagoveschensk, Russia

E-mail: nataly-savina@mail.ru**D. S. Pokrovskiy**

Amur State University

Blagoveschensk, Russia

E-mail: kladfl368@gmail.com**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ НА ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЯХ****APPLICATION OF THE TECHNOLOGY OF DIGITAL DOUBLES ON DIGITAL SUBSTATIONS**

Аннотация. В статье приводятся основные принципы цифровизации энергетики, рассмотрена современная технология цифрового двойника и показано ее применение на примере силовых трансформаторов цифровых подстанций. Представлены основные принципы и преимущества рассматриваемой цифровой технологии в совершенствовании технической диагностики электрооборудования на примере диагностики силового трансформатора.

Abstract. The article discusses: the basic principles of digitalization, modern digital twin technology and its application in relation to power transformers. The basic principles and advantages of digital technologies are presented, as well as generally accepted principles are formulated.

Ключевые слова: цифровизация, цифровой двойник, подстанция, оборудование, объект, силовой трансформатор.

Key words: digitalization, digital double, substation, equipment, power transformer facility.

DOI: 10.22250/20730268_2023_101_83

В стратегии развития информационного общества в России на 2017-2030 гг., утвержденной Указом Президента РФ и направленной на развитие цифровой экономики, основным фактором выбрано расширение пользования цифровыми данными, повышающими эффективность производственного цикла на разных стадиях. В соответствии с [4] цифровизация рассматривается как синоним перехода к цифровой экономике.

Количественным показателем этого процесса на уровне государства является Digital Evolution Index (DEI), согласно которому в 2017 г. в десятку передовых стран входили Норвегия, Швеция, Швейцария, США, Великобритания, Дания, Финляндия, Сингапур, Южная Корея и Гонконг. Россия занимала 39-е место, рядом с Китаем, Индией, Малайзией и Филиппинами [1].

Современное общество быстро модернизируется благодаря внедрению инновационных цифровых технологий во все социальные и экономические сферы. Энергетическая отрасль не является исключением: интеллектуальные системы управления широко используются энергетическими предприятиями. Эти системы представляют собой набор организационных, технических, программных и информационных средств, предназначенных для сбора, хранения, обработки и анализа информации, необходимой для выполнения различных функций в энергетической отрасли.

Цифровизация энергетики заключается в принципиальной смене внутренней архитектуры и управления на базе цифровых технологий. На сегодняшний день это актуальная тенденция, направленная на повышение эффективности работы энергетики и создание технологической среды, которая качественно улучшит показатели работы отрасли, а также внесет существенные изменения в производственную экосистему.

Решающий фактор успеха в преобразовании энергетической отрасли – готовность организаций и их сотрудников к освоению инструментов цифровизации и получению цифровой ценности – преимуществ, которые предлагаются новыми технологиями. Одной из таких технологий является цифровая подстанция.

Рассматривая большое разнообразие точек зрения и подходов к тому, что понимать под термином «цифровая подстанция» (ЦПС), С.И. Чичев и др. [6] в своих работах отмечали, что обычно в качестве определяющего признака технологии цифровой подстанции используется ее IT-развитость, т.е. констатация того, что все процессы информационного обмена между элементами программно-аппаратного комплекса ЦПС осуществляются в цифровом виде. Исходя из этого, под цифровой подстанцией понимается «подстанция с высоким уровнем автоматизации управления технологическими процессами, оснащенная развитыми ИТС, управляющими системами и средствами (автоматизированными системами управления технологическими процессами – АСУ ТП, релейной защиты и автоматики – РЗА, противоаварийной автоматики – ПА, коммерческого учета электроэнергии – АИИС КУЭ, регистрации аварийных событий – РАС, определения места повреждения – ОМП, сети сбора и передачи информации – ССПИ и др.), в которой все процессы информационного обмена между элементами ПС, информационного обмена с внешними системами, а также управления работой ПС осуществляются в цифровом виде на основе протоколов Международной электротехнической комиссии – МЭК. При этом и первичное силовое оборудование ЦПС, и компоненты информационно-технологических и управляющих систем должны быть функционально и конструктивно ориентированы на поддержку цифрового обмена данными» [6].

В работе А.А. Хвалько и др. выделяется цифровая технология, способствующая быстрой трансформации энергосистем и повышению гибкости управления – цифровой двойник [3].

Впервые этот термин предложен в 2003 г. М. Гривзом (Флоридский технологический институт, США). В соответствии с его определением цифровой двойник – набор виртуальных информационных конструкций, которые полностью описывают потенциальный или реальный физический продукт на микро- и макроуровне, причем в оптимальном варианте любая информация, которую можно

получить при осмотре физического изделия, может быть получена от его цифрового двойника [2]. Менее академически цифровой двойник определяют как сочетание вычислительной модели и реальной системы, разработанное для мониторинга, контроля и оптимизации ее функциональности на протяжении жизненного цикла и основанное на анализе данных [2].

Цифровой двойник предполагает организацию потока данных от реального объекта к цифровому и наоборот (например, данные, поступающие от датчиков, установленных на оборудовании). Таким образом, изменение состояния реального объекта определяет изменение состояния цифрового объекта и, наоборот, изменение состояния цифрового объекта также приводит к изменению состояния реального объекта.

При создании цифрового двойника, как правило, проходят несколько стадий, связанных с постепенным усложнением системы. При этом возрастает важность обратной связи и прогнозирования. Далее реализуются возможности машинного обучения и увеличивается потенциал масштабирования. Наконец, реализуются возможности автономной работы и взаимодействия с иными интеллектуальными системами (например, для объединения цифровых двойников более низкого уровня).

В идеале цифровой двойник должен:

1) учитывать процессы старения реального объекта, используя совокупность физического моделирования и анализа эксплуатационных данных, в том числе данных об отключениях, нагрузке, состоянии окружающей среды на площадке ЦПС;

2) уметь выполнять динамические оценки и настройку модели.

Разработка цифровых двойников в большей степени актуальна для дорогостоящего энергетического оборудования или энергосистем, ошибки в функционировании которых приводят к тяжелым последствиям. Сюда относятся генераторы, силовые трансформаторы системообразующих связей, автотрансформаторы и т.п. Для остального электрооборудования цифровые двойники применять нецелесообразно, так как затраты на их разработку превышают стоимость оборудования, отказы которого не приводят к тяжелым последствиям. Применение существующих систем оценки состояния оборудования затрудняется из-за отсутствия чувствительности к различным схемно-режимным параметрам энергосистемы.

Для повышения точности оценки и прогнозирования технического состояния трансформаторного оборудования переходят к методам на основе технологии «цифровой двойник». Целесообразно применение технологии цифровых двойников к силовым трансформаторам как на стадии их эксплуатации, так и проектирования, производства, ремонта. При эксплуатации это дает возможность выявлять неисправности трансформаторов без их разборки, а также прогнозировать последствия тех или иных режимов работы или решений по управлению их работой и работой сети в целом. На стадии производства цифровой двойник проектируемых трансформаторов может быть использован для анализа вариантов проектных решений, уточненного поверочного расчета спроектированного устройства путем исследования его работы в характерных режимах будущей эксплуатации. Расхождение результатов приемосдаточных испытаний изготовленного трансформатора с результатами исследования его цифрового двойника может стать основанием для браковки данного устройства, совершенствования проекта или системы проектирования.

До сих пор применительно к ЦПС технологию цифрового двойника не использовали. Это видно из предлагаемых и реализуемых архитектур ЦПС [6]. Рассмотрим целесообразность примене-

ния технологии цифровых двойников для ЦПС на примере силовых трансформаторов.

Залог безопасной и надежной работы силовых трансформаторов – особое внимание к оценке их состояния. Цифровые двойники позволят не только оценивать состояние силовых трансформаторов в реальном времени адаптивно режимам их работы, но и точно на основе съема данных с трансформатора прогнозировать их жизненный цикл, определять необходимость ремонтов по их техническому состоянию, а не на основе регламентов, полученных по усредненным данным генеральной совокупности трансформаторов. Цифровой двойник дает возможность увеличить срок службы трансформатора путем упреждения критических значений его параметров за счет мониторинга его состояния, анализа полученных данных, имитационного моделирования его технического состояния и выдачи управляющих воздействий, направленных на увеличение срока службы. Кроме того, применение цифрового двойника приведет к сокращению затрат на периодические проверки и ремонты, уменьшению стоимости средств контроля, управления и защиты, улучшению условий безопасного производства работ и электромагнитной совместимости, сокращению продолжительности проектных и пусконаладочных работ в связи с типизацией оборудования, повышением уровня заводской готовности и уменьшением объема кабельной продукции на ЦПС.

Особого преимущества от применения цифрового двойника можно ожидать в области диагностики трансформаторов без отключения от сети путем расширения функционала, использования новых методов диагностики, обеспечения общей оценки технического состояния трансформатора с учетом корреляционных зависимостей между показателями различной физической природы. В настоящее время оценка технического состояния трансформатора по отдельным свойствам выполняется более или менее удовлетворительно, однако получить достоверную общую оценку его технического состояния не представляется возможным. Эта проблема заставляет искать другой подход к общей оценке технического состояния электрооборудования. Ее можно решить за счет технологии цифровых двойников.

Интегрируя в трансформаторы специализированные цифровые необслуживаемые датчики и полевые контроллеры, можно представить трансформатор как объект в модели IEC 61850. Для реализации общеизвестных методов диагностики трансформаторов в цифровом двойнике необходимы датчики: температуры верхних слоев масла, влажности и газосодержания масла, токов утечки вводов, положения РПН, уровня масла в баке-расширителе, датчик влажности силикагеля в осушителе, струйные и газовые реле, датчик положения отсечного клапана, датчик контроля уровня, модули связи. Цифровой двойник должен уметь выполнять расчетно-диагностические задачи – например, сравнение контролируемых параметров с уставками или нормативными значениями, расчет температуры наиболее нагретой точки, расчет перегрузочной способности трансформатора.

Цифровые двойники могут существенно преобразовать электроэнергетический сектор. Если сначала было распространено представление, что цифровой двойник — это реалистичная трехмерная модель физического объекта, то теперь он понимается скорее как имитационная модель, учитывающая особенности множества процессов. В этом смысле он хорошо укладывается в новые бизнес-модели энергетических компаний при соблюдении некоторых рекомендаций:

- 1) в проектах по внедрению цифрового двойника необходимо предусматривать сквозной жизненный цикл, включающий проектирование и строительство, а также эксплуатацию и обслуживание;
- 2) у всех участников проекта должно быть сформировано единое целостное видение роли и

ценности внедряемого цифрового двойника для объектов компании;

3) цифровые двойники быстро развиваются в отдельных функциональных подразделениях, однако новую ценность они могут приобрести только при интеграции процессов и данных в рамках компании в целом, поэтому обязательно необходим взгляд «сверху вниз»;

4) для извлечения максимальной ценности от цифровых двойников требуется создание и поддержка информационной архитектуры, которая обеспечивает доступ к данным на протяжении всего жизненного цикла;

5) экспоненциальный рост объемов данных приводит к симметричному увеличению времени по их обработке: при внедрении цифровых двойников необходимо создать правила и систему обращения с данными, поддержки пользователей при возникающих проблемах;

6) внедрение цифровых двойников должно приводить к поиску новых способов сотрудничества между работниками и взаимодействия с информационными моделями в рамках компании.

Проведенный анализ и рассмотренные возможности технологии цифрового двойника для силовых трансформаторов цифровых подстанций показывают целесообразность и необходимость их применения для повышения надежности не только силовых трансформаторов, но подстанции в целом, повышения ее эффективности и уровня интеллектуализации. В конечном итоге цифровые двойники ускоряют цифровую трансформацию электроэнергетики и дают возможность ускоренного перевода электроэнергетической системы на новую технологическую платформу интеллектуальной электроэнергетической системы с активно-адаптивной сетью.

1. Bhaskar Chakravorti and Ravi Shankar Chaturvedi. Digital Planet 2017 How competitiveness and trust in digital economies vary across the world. // The Fletcher School, Tufts University, July 2017 [Электронный ресурс]. URL: https://sites.tufts.edu/digitalplanet/files/2020/03/Digital_Planet_2017_FINAL.pdf (дата обращения: 25.03.2023).

2. Digital Twin. Towards a Meaningful Framework // ARUP. 2019. URL: <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/digital-twin-towards-a-meaningful-framework>. (дата обращения: 25.03.2023)

3. Мерешавили, Т.А., Хвалько, А.А. Альманах ассоциации «Цифровая энергетика», 2022. URL: <https://www.digital-energy.ru/wp-content/uploads/2022/11/%D0%90%D0%BB%D1%8C%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D1%85.pdf> (дата обращения: 26.03.2023).

4. Указ Президента Российской Федерации от 09.05.2017 г. № 203 «О стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017-2030 гг.» [Электронный ресурс]. URL: <http://kremlin.ru/acts/bank/41919> (дата обращения: 26.03.2023).

5. Корсунов, П.Ю., Моржин, Ю.И., Попов, С.Г. Разработка концепции «Цифровая подстанция». Договор № И-11-41/10 ОАО «НТЦЭ». – М., 2011 – 248 с.

6. Чичев, С.И. Методология проектирования цифровой подстанции в формате новых технологий / С.И. Чичев, В.Ф. Калинин – М.: Изд. дом «Спектр», 2014. – 228 с.