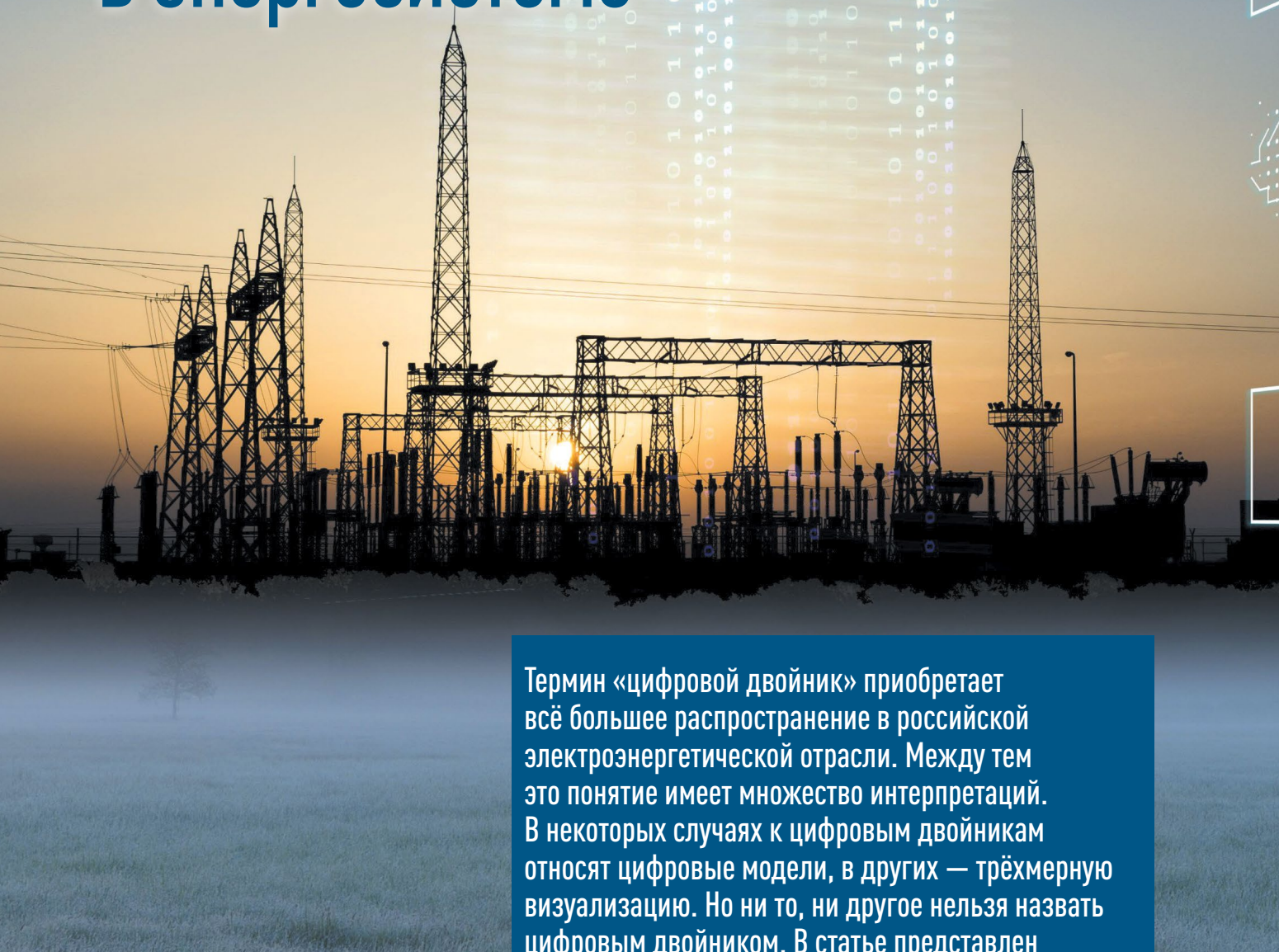
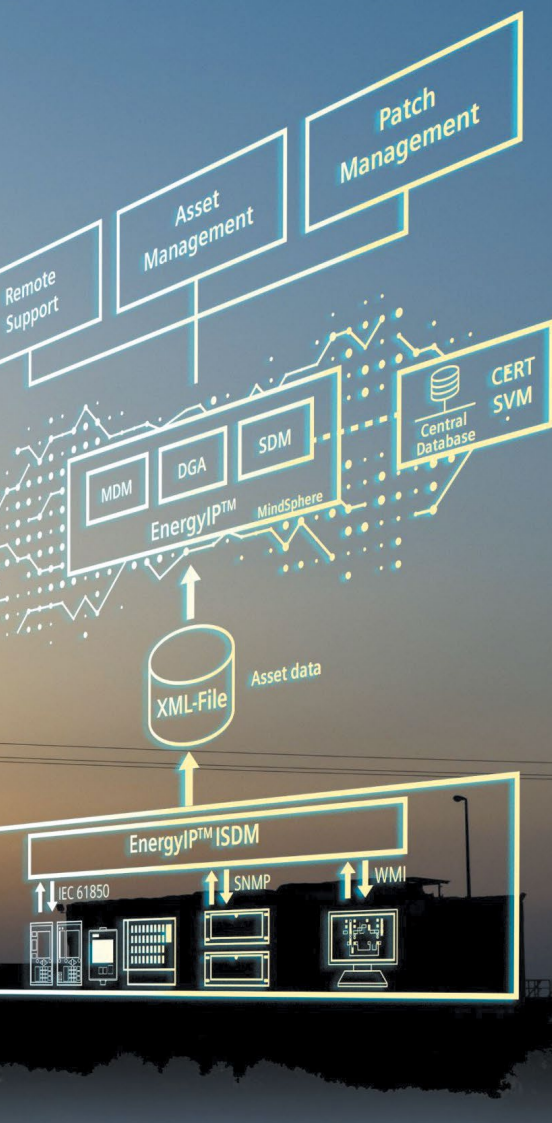


Цифровые двойники меняют процессы управления в энергосистеме



Термин «цифровой двойник» приобретает всё большее распространение в российской электроэнергетической отрасли. Между тем это понятие имеет множество интерпретаций. В некоторых случаях к цифровым двойникам относят цифровые модели, в других — трёхмерную визуализацию. Но ни то, ни другое нельзя назвать цифровым двойником. В статье представлен авторский взгляд на эту концепцию, разъясняется, почему всё больше энергокомпаний инвестируют в создание электронных копий как отдельных энергообъектов, так и целых энергосистем, а также анализируются перспективы внедрения технологии.

Р.А. Богомолов, директор по автоматизированным системам диспетчерского управления АО «СО ЕЭС»



Базовое определение термина «цифровой двойник» содержится в международном стандарте ISO 23247-1-2021 [1]. Согласно указанному документу «цифровой двойник — это цифровое представление наблюдаемого производственного элемента с взаимной синхронизацией между ними». Схожее определение введено в ГОСТ Р 57700.37-2021 [2]: «цифровой двойник изделия — система, состоящая из цифровой модели изделия и двухсторонних информаци-

онных связей с изделием (при наличии изделия) и (или) его составными частями». Иными словами, цифровая модель является одной из важнейших составляющих цифрового двойника, но ещё не цифровым двойником.

Что касается цифровой модели, то без неё невозможно представить электроэнергетику. В отрасли хорошо развиты и широко применяются технологии моделирования. Моделирование используется на всём жизненном цикле оборудования, начиная с проектирования и заканчивая реализацией мероприятий по его выводу из эксплуатации. Кроме того, моделирование необходимо для управления энергосистемой, а также планирования как в краткосрочном периоде, так и для целей перспективного развития.

До недавнего времени в отечественной энергетике моделирование выполнялось разрозненно в отдельных программных комплексах, в результате чего образовалось множество различных цифровых моделей, не интегрированных между собой и имеющих для этого ограниченные возможности.

Это создавало существенные издержки по обеспечению высокого качества данных и поддержанию их в актуальном состоянии. В результате были инициированы работы по унификации обмена данными информационных моделей на основе стандартов CIM (серия ГОСТ Р 58651 [3]).

За последние годы Системный оператор нарастил опыт практического применения технологий CIM, изначально использовавшихся для унификации информационного обмена в масштабах компании. В настоящее время крупнейшие энергокомпании успешно создают цифровые информационные модели и интегрируют их с Единой информационной моделью ЕЭС России, разработанной СО ЕЭС.

В мире CIM рассматривается как унифицированная модель данных, в том числе для создания цифровых двойников энергосистем.

Направления использования

В качестве одного из ключевых направлений использования технологии цифровых двойников можно выделить оценку фактического состояния и условий работы физических объектов. Применение этого решения позволяет проводить ремонты в зависимости от состояния оборудования в противовес традиционной практике ремонтов по графику. Как следствие, продлевается ресурс эксплуатируемого оборудования, а следовательно, и оптимизируются издержки.

Использование цифровых двойников означает и качественно новый уровень удалённого мониторинга и управления оборудованием, в том числе возможность проактивного управления. Кроме того, обеспечивается управление рисками за счёт высокой степени осведомлённости о физи-

ческом объекте и возможностей моделирования его поведения. Ещё один результат — повышение качества решения оптимизационных задач, проектирования и планирования.

Применяемые экспертные модели удовлетворяют текущему уровню бизнес-процессов, поэтому использование цифровых двойников для этих задач, вероятно, следует рассматривать в совокупности с изменением самих бизнес-процессов.

Обычно понятие «цифровой двойник» ассоциируется с конкретной единицей оборудования. Однако Системный оператор уже много лет использует аналогичные технологии для управления энергосистемами. Например, прообразом цифрового двойника можно считать цифровую модель энергосистемы в сочетании с большим объёмом телеметрической информации, поступающей в режиме реального времени с каждого энергообъекта (всего в Системном операторе используется более 1 млн параметров). Это создаёт реальное представление о фактическом состоянии энергосистемы, а также позволяет сформировать и выдать управляющие воздействия на её элементы. Так, например, диспетчер может оценить влияние переключений и предпринять дополнительные мероприятия по подготовке исходного режима. Такие технологии используются СО ЕЭС в автоматизированных системах, например, в системах мониторинга за-

пасов устойчивости (СМЗУ) для определения допустимых перетоков активной мощности в контролируемых сечениях.

Исторически допустимые перетоки в контролируемых сечениях, то есть в контролируемых диспетчером наборах оборудования и линий электропередачи, соединяющих отдельные энергорайоны, определялись на основе цикла расчётов, выполненных для наиболее тяжёлого режима. Сегодня СМЗУ, внедрённая в 25 диспетчерских центрах для 239 контролируемых сечений, выполняет цикл расчётов в реальном времени исходя из фактического режима. Это позволяет увеличить максимально допустимый переток активной мощности на 10–20% и обеспечить оптимальную загрузку электростанций. Например, в Объединённой энергосистеме Сибири при-

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ
ОЗНАЧАЕТ
И КАЧЕСТВЕННО НОВЫЙ
УРОВЕНЬ УДАЛЁННОГО
МОНИТОРИНГА
И УПРАВЛЕНИЯ
ОБОРУДОВАНИЕМ, В ТОМ
ЧИСЛЕ ВОЗМОЖНОСТЬ
ПРОАКТИВНОГО
УПРАВЛЕНИЯ.**

менение СМЗУ обеспечивает до 700 МВт дополнительной пропускной способности магистральных ЛЭП.

Схожий принцип работы используется в централизованных системах противоаварийной автоматики (ЦСПА) — программно-аппаратных комплексах, автоматически обеспечивающих устойчивость работы энергосистемы при возникновении аварийных ситуаций. Важно отметить, что на основе фактического состояния энергосистемы ЦСПА выполняет расчёт объёмов управляющих воздействий для передачи на локальные устройства автоматики. Они в свою очередь обеспечивают автоматическую ликвидацию аварийных ситуаций. В этом случае можно сказать, что ЦСПА обеспечивает двустороннюю информационную связь с энергосистемой.

Перспективным направлением в применении цифровых двойников энергосистем является использование синхронизированных векторных измерений (СВИ), позволяющих получить максимально подробные сведения о происходящих в энергосистеме динамических процессах. Текущая оснащённость энергообъектов соответствующими измерителями уже позволяет решать отдельные технологические задачи, что без СВИ было невозможно.

Использование цифровых двойников энергосистем имеет большой потенциал. В части цифровых двойников оборудо-

вания в настоящее время масштабных внедрений не наблюдается. Но отдельные проекты электросетевыми и генерирующими компаниями сегодня реализуются, именно их эффективность во многом определит темпы развития технологии и потенциал рынка. Ожидается, что в ближайшие 5–10 лет этот тренд будет набирать обороты.

Необходимым условием внедрения технологии цифровых двойников является создание адекватных цифровых моделей и отработка технологии анализа данных, поступающих как от физического объекта, так и его цифрового двойника, определение допустимых флуктуаций и триггеров, области и механизмов взаимного влияния физического объекта и его цифрового представления. Массовое распространение технологии потребует учёта в процессах управления энергосистемой и планирования. И, конечно, важна нормативная база, определяющая подходы к использованию цифровых двойников.

Согласно Постановлению Правительства РФ от 30.12.2022 № 2557 в Системном операторе созданы цифровые информационные модели всех электрических сетей ЕЭС России напряжением 110 кВ и выше. С большинства подстанций класса напряжения 110 кВ и выше в Системный оператор в режиме реального времени поступают телеизмерения и телесигналы.

С другой стороны, согласно Приказу Минэнерго РФ

от 20.12.2022 № 1340, субъекты электроэнергетики, начиная с 2024 г., будут предоставлять в Системный оператор информацию о параметрах и характеристиках оборудования и ЛЭП в цифровом формате. Это позволит создать единое информационное пространство в электроэнергетике, упорядочить и синхронизировать используемые данные.

Таким образом, можно говорить о том, что базовые цифровые модели электрических сетей напряжением 110 кВ и выше уже сформированы. В ближайшие годы ожидается существенное развитие этого направления. Оно коснётся как увеличения объёма данных и расширения спектра деловых процессов, в которых они используются, так и технологий их обработки и информационного обмена в целом. Предоставление недискриминационного доступа к формируемым Системным оператором информационным и расчётным моделям энергосистем — одна из задач введённой с текущего года новой централизованной системы планирования перспективного развития электроэнергетики. Новый подход позволяет существенно упростить и оптимизировать процесс разработки и согласования проектной документации, сократить сроки реализации инвестиционных проектов, а также сопутствующие затраты.

Порядок раскрытия и предоставления информационных моделей утверждён отрас-

левым регулятором (Приказ Минэнерго РФ от 17.03.2023 № 82). Необходимый инструментарий для раскрытия этих данных предоставляет разработанный и запущенный Системным оператором в 2021 г. специализированный «Портал обмена информационными моделями с субъектами электроэнергетики» (СІМ-портал).

Раскрытие информации в ограниченном объёме в соответствии с требованиями нормативно-правовых актов уже выполнено. Начиная с 1 января 2024 г., субъектам электроэнергетики будет предоставлен доступ к информационным моделям принадлежащего им оборудования и ЛЭП. Для доступа к моделям субъектам необходимо подать заявку в порядке, установленном Приказом Минэнерго РФ от 17.03.2023 № 82. В рамках подготовки к принятию функций по оперативно-диспетчерскому управлению в технологически изолированных энергосистемах были разработаны цифровые информационные модели этих энергосистем, обеспечен приём и обработка имеющихся у собственников телеизмерений с энергообъектов. Эти мероприятия позволят удовлетворить базовые потребности технологических задач по управлению этими энергосистемами. Но предстоит большая работа по поэтапному приведению информационного обмена в соответствие со стандартными требованиями, которые предъявляются

к энергообъектам в остальной части России.

Создание цифровых моделей новых энергосистем — задача непростая, однако накопленный в Системном операторе опыт моделирования в совокупности с активным содействием субъектов электроэнергетики по сбору исходных данных позволил успешно справиться с ней. Дальнейшее развитие цифрового моделирования и создание цифровых двойников будут определяться потребностями технологических процессов.

Цифровой двойник считается компонентом Индустрии 4.0, поэтому важно не столько внедрение цифровых двойников, сколько изменение технологических процессов, переход на новую парадигму управления объектами. Цифровые двойники позволяют получить беспрецедентный объём информации об объекте, а также «взглянуть» в будущее, «прожить» тысячи и миллионы разных «жизней» (в зависимости от вычислительных мощностей) и выбрать оптимальную по заданным критериям. В совокупности с IoT эта технология позволит кардинально изменить текущие процессы управления как отдельными единицами оборудования, так и энергосистемой в целом. Цифровые двойники окажут существенное влияние и на процессы планирования. Ожидаемые результаты — начиная с ремонтов по состоянию и заканчивая наиболее эффективным решением оп-

тимизационных задач в режиме реального времени.

Важно учитывать и то, что электроэнергетика — достаточно консервативная сфера, в которой каждое решение должно приниматься взвешено и только после подтверждения его надёжности и эффективности. Это обусловлено стратегическим значением отрасли. Поэтому горизонт изменений парадигмы сейчас выглядит достаточно далёким — в пределах 20–50 лет. При этом общая тенденция к интенсификации усилий в этом направ-

лении просматривается уже сейчас. В этом смысле особо важна работа, выполняемая под руководством и при поддержке отраслевого регулятора, по внедрению технологий цифрового моделирования и созданию цифровых моделей как неотъемлемой части цифровых двойников.

Помимо Системного оператора, подобные работы сейчас проводят крупнейшие энергокомпании — ПАО «Россети», ПАО «РусГидро», АО «Концерн Росэнергоатом», АО «СУЭНКО», АО «Сетевая компания» и другие. 📍

Литература

1. ISO 23247-1-2021 «Системы автоматизации и интеграция. Цифровой двойник для производства».
2. ГОСТ Р 57700.37-2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения».
3. ГОСТ Р 58651 «Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Информационная модель электроэнергетики».

Автор



Богомолов Роман Александрович — директор по автоматизированным системам диспетчерского управления АО «СО ЕЭС». Родился 8 октября 1979 г. в Павлодаре (Казахстан). В 2003 г. окончил Московский энергетический институт (технический университет) по специальности «Электрические станции» и Международный независимый эколого-политологический университет по специальности «Финансы и кредит». В Системном операторе работает с момента основания компании. Возглавляет подкомитет ПК-7 «Интеллектуальные технологии в электроэнергетике» Технического комитета по стандартизации «Электроэнергетика» (ТК 016) Росстандарта, занимающийся, в том числе, разработкой национальных стандартов по применению CIM в электроэнергетике.