

УДК 621.311

Голованов Игорь Григорьевич,

к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»,  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,

e-mail: golovanov\_ig@mail.ru

Гусев Илья Григорьевич,

обучающийся группы ЭЭ-22-1 ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический  
университет», me-mail: reno11740@gmail.com

Дюндик Сергей Евгеньевич,

обучающийся группы ЭЭз-24-1 ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический  
университет», e-mail: neo\_\_\_@list.ru

Шитенков Григорий Александрович,

обучающийся группы ЭЭ-22-1 ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический  
университет», e-mail: gregoryshitenkov@yandex.ru

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ  
ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ С ВНЕДРЕНИЕМ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

*Golovanov I.G., Gusev I.G., Dyundik S.E., Shitenkov G.A.*

**IMPROVING THE RELIABILITY OF POWER SUPPLY TO CONSUMERS  
OF THE IRKUTSK REGION WITH THE INTRODUCTION OF DIGITAL TWINS OF  
ELECTRIC POWER SYSTEMS**

**Аннотация.** Рассмотрены основные направления развития, структурная схема и внедрение систем на базе цифрового двойника для электроэнергетических систем (ЭЭС), что позволяет определить оптимальную конфигурацию ЭЭС, в зависимости от режима работы, выдавать рекомендации обсуживающему персоналу о переходных режимах её работы, перевести ЭЭС на эксплуатацию по состоянию.

**Ключевые слова:** цифровой двойник ЭЭС, надёжность, качество электроэнергии, система электроснабжения, воздушные линии электропередачи, эксплуатация ЭЭС по состоянию.

**Abstract.** The main directions of development, structural diagram and implementation of systems based on a digital twin for electric power systems (EPS) are considered, which makes it possible to determine the optimal configuration of the EPS, depending on the mode of operation, to issue recommendations to the supporting personnel on the transitional modes of its operation, to transfer the EPP to condition-based operation.

**Keywords:** digital twin of the power plant, reliability, quality of electricity, power supply system, overhead power lines, operation of the power plant according to the condition.

Моделирование технических систем выполняется уже давно, как за рубежом, так и в нашей стране. В основном 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. Развитие компьютерных технологий и программного обеспечения позволило расширить диапазон применения компьютерного моделирования технических систем, в том числе и в электроэнергетике. В 60-е годы прошлого столетия были разработаны системы автоматизированного проектирования САД (computer-aided design) и САЕ

(computer-aided engineering), которые сформировали принципы автоматизированного проектирования виртуальных копий физических объектов. Это послужило прорывом в разработке цифровых двойников технических систем, научно-исследовательских направлений и производств.

В 70-е годы цифровые двойники нашли практическое применение в авиации и космонавтике. Этому послужила авария на космическом корабле «Аполлон – 13» [1]. Цифровой двойник – это набор информационных структур, моделирующих реальный объект. При достижении определенной точности цифрового двойника, эксперименты с ним способны прогнозировать потенциальное

развитие системы при изменениях заданных параметров и влияния внешних факторов. Однако, неверно воспринимать цифровой двойник только как тренажёрную систему, для проверки знаний, навыков и проведения инструктажей. Его потенциал гораздо шире и включает [2-4]:

- разработку концепции сети электро-снабжения;
- технико-экономическое обоснование проектов создания и развития сетей;
- определение причин аварий;

- анализ параметров и режимов;
- прогнозирование режимов работы ЭЭС.

На современном этапе развития компьютерных технологий практически любой физической объект может быть виртуально дублирован комплексным внедрением системы математических и компьютерных моделей. При этом обеспечивается создание информационных связей обработки данных реального физического объекта и обратных цифровых потоков физического объекта.



Рисунок 1 - Структурная схема управления и контроля ЭЭС при использовании цифрового двойника

Актуальность внедрения систем с моделированием цифрового двойника ЭЭС для повышения надёжности сетей напряжением 110 кВ и выше энергосистемы Иркутской области на период до 2028 года [5], обусловлено:

- мероприятиями, направленными на исключение ввода графиков аварийных ограничений режима потребления электрической энергии (мощности) (ГАО) в электрической сети;
- мероприятиями, направленными на предотвращение рисков ввода ГАО с учётом обеспечения прогнозного потребления электрической энергии и мощности.

Создание цифровых двойников как для системообразующих, питающих, так и для распределительных сетей позволяют создавать:

- единый источник информации о состоянии сети;
- собирать данные из различных подсистем для создания модели сети, отражающей поведение реальной системы;
- снижать издержки на создание модели и использовать их для анализа сети;
- улучшать качество информации об электрической сети;
- упрощать процесс выдачи заявок на технологическое присоединение;
- более точно рассчитывать технические потери в сети.

Структурная схема управления и контроля ЭЭС при использовании цифрового двойника, которая может быть применена для сетей ЭЭС различного уровня напряжения представлена на рисунке 1. В её состав входят:

– нормативно-справочные данные;  
– цифровой двойник ЭЭС, который состоит из:

а) математической и имитационной моделей;

б) информационной модели;

в) онтологической модели;

– системы выдачи данных с датчиков информации и автоматических систем;

– измерительные и автоматические системы.

Блок нормативно-справочные данные содержит информацию по технической, эксплуатационной, справочной, нормативно-правовой документации.

В цифровом двойнике ЭЭС модели используются для решения следующих задач:

– анализ параметров цифрового двойника с реальным объектом ЭЭС;

– оповещение обслуживающего персонала и поддержка принятия решений;

– прогнозирование изменения технических параметров ЭЭС, с течением времени;

– выявление новых возможностей применения реального объекта и получение при этом экономических эффектов.

Математическая модель ЭЭС включает:

– однолинейные схемы электроснабжения;

– техническая и эксплуатационная документация ЭЭС.

Имитационная модель – компьютерная модель реального объекта, которая воспроизводит работу оригинала в течение заданного времени и позволяет:

– моделировать сложные ЭЭС, т.к. учитывает множество параметров системы, взаимосвязи между ними, позволяя воссоздать работу ЭЭС во времени;

– проводить любые эксплуатационные эксперименты, не рискуя реальным объектом;

– анализируя работу ЭЭС в различных состояниях, найти оптимальные параметры режим работы для реальной системы;

– по сравнению с натурными испытаниями ЭЭС, экономит ресурсы и время.

Информационная модель формирует сведения об объекте ЭЭС, о составе и характеристиках оборудования, справочные материалы и т. д.); ведёт текущий контроль параметров системы.

Онтологическая модель ЭЭС: обеспечивает передачу информации от датчиков

информации (измерительные приборы, исполнительные автоматы) в математическую модель ЭЭС путём формирования метамодели в программном комплексе полного набора сведений об объекте.

Система выдачи данных с датчиков информации и автоматических систем позволяет получать:

– информацию в цифровом для реализации цифрового двойника ЭЭС от измерительных и автоматических систем.

Измерительные и автоматические системы включают в себя:

Автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) – это комплексы программных и технических средств, предназначенных для автоматизации управления технологическим электрооборудованием в ЭЭС.

Автоматизированные системы технического учета электроэнергии (АСУЭ) обеспечивают автоматизированный учёт электроэнергии, что дает возможность дистанционно контролировать и измерять потребляемую электроэнергию.

– с помощью неё учитываются технологические потери, происходит управление режимами энергопотребления.

Автоматизированные информационно-измерительные системы коммерческого учёта электроэнергии (АИИСКУЭ) – это автоматизированные системы, используемые для коммерческого учёта электроэнергии по каждому прибору учёта, контроля за параметрами электроэнергии, соблюдением лимитов энергопотребления, и получения сведений баланса по каждой расчетной группе.

Автоматизированные системы управления электроснабжением (АСУЭ) – комплексы аппаратных и программных средств, предназначенных для управления различными процессами в рамках технологического процесса, предприятия.

Автоматизированные системы диспетчерского управления (АСДУ) обеспечивают:

– повышение надежности электроснабжения предприятия;

– минимизацию возможных потерь от простоев и аварийных ситуаций;

– снижение энергоёмкости конечного продукта;

– персонал информацией для её использования в оперативно-технологическом и оперативно-техническом управлении режимами работы.

– автоматизированный учёт электроэнергии и мощности;

– предоставление достоверных данных с целью анализа расхода электроэнергии и возможности на основании полученных данных проведения мероприятий, направленных на использование электроэнергии и проведения энергоаудита;

– автоматизированный сбор и хранение информации о параметрах электросети на присоединениях 110/35/10 кВ подстанции.

В цифровой двойник поступает информация от IoT-системы (Internet of Things). Эта технология работает в двух основных направлениях: снижение энергопотребления и контроль технической исправности оборудования для предотвращения аварийных ситуаций. Технология IoT - это сеть, которая может соединить любой объект с Интернетом для достижения целей мониторинга, управления и определения местоположения.

Выводы:

1. В качестве одного из направлений использования цифровых двойников можно

выделить оценку фактического состояния и условий работы физических объектов. Это позволяет проводить ремонты в зависимости от состояния оборудования в противовес традиционной практике ремонтов по графику, т.е. сделать предпосылки перевода электрооборудования ЭЭС к эксплуатации по состоянию, что существенно снижает эксплуатационные расходы.

2. Согласно Постановлению Правительства РФ от 30.12.2022 № 2557 [6] в Системном операторе созданы цифровые информационные модели всех электрических сетей ЕЭС России напряжением 110 кВ и выше, что даёт полное информационное обеспечение цифровому двойнику ЭЭС.

3. С другой стороны, согласно Приказу Минэнерго РФ от 20.12.2022 № 1340 [7], субъекты электроэнергетики, начиная с 2024 г., будут предоставлять в Системный оператор информацию о параметрах и характеристиках оборудования и ЛЭП в цифровом формате.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блог MWS. Анализ и проектирование систем. Научно-популярное. Искусственный интеллект. Обзор. [Электронный ресурс] // История и новые кейсы цифровых двойников: от космоса до интеграции с ML. <https://habr.com/ru/companies/mws/articles/837900/> (дата обращения: 26.09.2024)

2. Практическое применение цифрового двойника электрических сетей АО «Карельский окатыш». [Электронный ресурс] // Что такое цифровой двойник электрической сети? [сайт] [2024]. <https://summatechnology.ru/projects/all/prakticheskoe-primenenie-tsifrovogo-dvoynika-elektricheskikh-setey-ao-karelskiy-okatysh/> (дата обращения: 26.09.2024).

3. **Коновалов, Ю.В.** Моделирование электромеханических процессов в синхронном двигателе / Ю.В. Коновалов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2011. № 4(32). – С. 84-89.

4. **Коновалов, Ю.В.** Применение цифровых регуляторов для оптимального использования компенсирующей способности синхронных двигателей совместно с конденсаторными батареями / Ю.В. Коновалов // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2010. № 7(47). – С.

175-182.

5. Об утверждении схемы и программы развития электроэнергетических систем России на 2023 – 2028 годы. // Приказ Министерства энергетики РФ от 28.02.2023 года № 108. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/406404497/>. (дата обращения: 26.09.2024).

6. Об утверждении правил формирования и поддержания в актуальном состоянии цифровых информационных моделей электроэнергетических систем и перспективных расчётных моделей электроэнергетических моделей для целей перспективного развития электроэнергетики. // Постановлению Правительства РФ от 30.12.2022 №2557 <https://www.so.ups.ru/fileadmin/files/laws/regulations/reg2557-301222.pdf>. (дата обращения: 26.09.2024).

7. Об утверждении правил предоставления информации, необходимой для осуществления оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике. Приказ Минэнерго РФ от 20 декабря 2022 г. № 1340. [https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/laws/orders/pr1340\\_201222me.pdf](https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/laws/orders/pr1340_201222me.pdf). (дата обращения: 26.09.24).