

# ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

## АВТОРЫ:

Е.В. НИКИТИНА,  
ООО «СИМЕНС»

А.Н. ПОЛУЭКТОВ,  
ООО «СИМЕНС»

СВЕН КОХ,  
SIEMENS AG

**Ц**ифровизация является основным трендом развития как в мировой экономике, так и в мировой энергетике. По данным Navigant research

и Bloomberg New Energy Finance, в 2019 г. размер рынка цифровых технологий в мировой энергетике составляет \$ 54 млрд, и с каждым годом рынок будет расти на 3–5 %.

**Ключевые слова:** цифровой двойник; PSS@ODMS; PSS@SINCAL; геоинформационная система.



Цифровой переход в электроэнергетике позволяет существенно повысить эффективность традиционной энергетической системы

## ВВЕДЕНИЕ

В России преобразование энергетической инфраструктуры посредством внедрения цифровых технологий и решений осуществляется в рамках Указа Президента России от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». В соответствии с данным указом, компанией «Россети» в конце 2018 г. была сформирована концепция «Цифровая трансформация 2030», в которой отражены принципы и основные шаги перехода к цифровым электрическим сетям. Концепция подразумевает не только создание цифровой подстанции или цифрового РЭС, но также изменение парадигмы работы электрических сетей с учетом внедрения таких технологических трендов, как Big Data, облачные системы, IoT, системы интеллектуального управления распределением (ADMS), цифровые двойники. Согласно данным компании «Россети», концепция рассчитана до 2030 г. и оценивается в 1,3 трлн руб.

Под термином «цифровизация» понимается большой набор технологий

и решений, которые в итоге должны привести к созданию цифровых электрических сетей. Все эти решения объединяют в потоковом режиме автоматизированные бизнес- и технологические процессы, тем самым исключая человека из принятия рутинных решений [1]. Задачей цифровизации является не только переход на новую программно-аппаратную базу, но также объединение технологических и бизнес-процессов, что приводит к снижению количества ошибок, а также значительно повышает скорость и точность принятия решений.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Примером технологии цифровизации является цифровой двойник электрической сети, который представляет собой единую базу данных, содержащую необходимую информацию об электрической сети

и интегрированную с другими подсистемами компании. Он автоматически обеспечивает синхронизацию данных, полученных из разных источников таким образом, что единая цифровая модель соответствует физической электрической сети (рис. 1).

Цифровой двойник является актуальной темой для современных энергокомпаний, так как в обычной компании существует только одна физическая электрическая сеть, но у нее есть десятки представлений в различных подразделениях. Каждая модель используется для разных целей и с разным программным обеспечением (например, для проведения расчетов сети, диспетчеризации, управления активами, в системе учета и т.д.). Несовпадения данных модели в разных подразделениях могут приводить к неточностям в представлении сети, неоптимальной производительности системы и чрезмерному ручному труду по актуализации данных моделей.

Основными преимуществами цифрового двойника являются:

1. Повышение точности и согласованности модели (единого источника информации) для проведения расчетов и эксплуатации, включая:
  - снижение вероятности серьезных эксплуатационных / плановых ошибок, вызванных некорректными данными в модели;
  - отслеживание изменений модели с возможностью воссоздания случаев после изменений («контрольный журнал»);
  - возможность взаимодействия с ключевыми источниками данных и функциями, например, системой управления активами, ГИС.
2. Повышение эффективности и оптимизация процессов в планировании и эксплуатации, включая:

## СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА

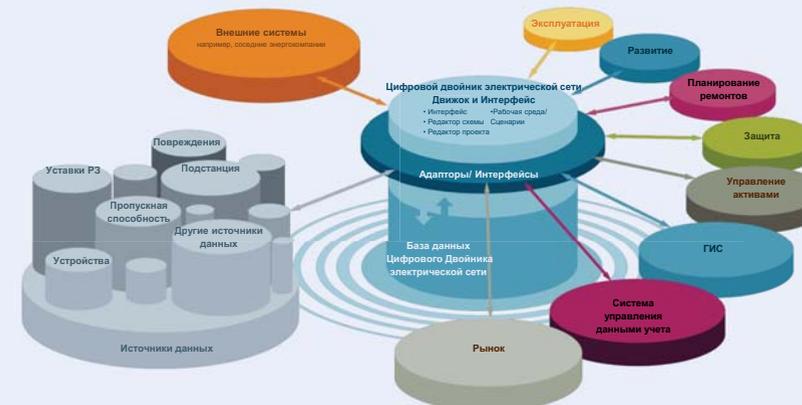


Рис. 1

- устранение существующих дублирующих процессов (совместное использование модели сети при планировании и эксплуатации);
  - автоматизация процессов (например, автоматическое построение модели распределительной сети);
  - сокращение сроков технологического присоединения к электрической сети;
  - унифицированный процесс моделирования и управления данными для различных функций.
3. Обеспечение более простой интеграции подсистем в будущем и увеличение общей цифровизации компании, включая:
- более эффективное использование ресурсов сети (эксплуатация ближе к возможным предельным значениям);
  - использование адаптивных уставок релейной защиты;
  - избежание / отсрочка необходимости усиления сети;
  - моделирование в режиме реального времени, например, предотвращение отключения электроэнергии посредством

динамической оценки и оценки безопасности защиты, прогноз на день вперед.

Стоит отметить, что специфика компаний-операторов магистральных сетей отличается от компаний-операторов распределительных сетей, хотя функции у них схожие — передача электроэнергии и техническое обслуживание активов. Цифровым двойником для магистральных сетей может выступать база данных, в которой модель сети хранится в формате CIM (например, с использованием ПО Siemens PSS@ODMS). Для распределительных сетей в качестве единого источника информации подходит база данных на основе расчетного ПО для электрических сетей (например, PSS@SINCAL) и ГИС-системы. Такое отличие связано с тем, что распределительные сети обладают гораздо большим количеством элементов, и вкпе с большой частотой изменений это создает огромные массивы данных, которые достаточно трудно обрабатывать [2]. При интеграции ГИС с PSS@SINCAL происходит оптимизация работы с данными.

## ПРИМЕР РЕАЛИЗАЦИИ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ДЛЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Примером создания цифрового двойника для магистральных сетей может служить проект ELVIS (ELectricity VerkkO Information System), реализованный компанией Fingrid в 2016 г. [3]. Fingrid является акционерной компанией открытого типа с ограниченной ответственностью и на 67,7 % принадлежит государству. Компания отвечает за планирование и развитие энергосистемы Финляндии, предоставление доступа к сетям — участникам рынка, управление электроэнергетическим рынком, обеспечение безопасности энергосистемы и прозрачности информации о деятельности рынка. Энергосистема Финляндии состоит из 116 подстанций, 4600 км линий мощностью 400 кВ, 2200 км линий мощностью 220 кВ и 7600 км линий мощностью 110 кВ.

Проект ELVIS решает некоторые из наиболее важных проблем в управлении активами и операциями в сети: функциональная совместимость, прозрачность и консолидация информации, которая обычно содержится в нескольких разнородных системах. ELVIS связывает воедино данные об активах из восьми различных продуктов (включая Siemens PSS@ODMS и PSS@E), объединяя нескольких поставщиков в целостную систему, обеспечивающую свободный обмен информацией между продуктами. Эти продукты охватывают основные функции: расчет сети (PSS@E), расчет защиты, управление данными уставок релейной защиты, моделирование сети и управление данными (ODMS PSS@), управление портфелем/проектом, инструменты геопространственного анализа и системы управления производством работ.

Сердцем цифрового двойника системы ELVIS является ПО PSS@ODMS, которое позволяет инженерам компании быстро и легко обслуживать, анализировать и обмениваться данными, связанными с сетью. Благодаря открытой архитектуре и дизайну ядра, основанному на стандарте IEC CIM 61970, ODMS PSS@ имеет центральное расположение для взаимодействия с несколькими приложениями в решении ELVIS, включая PSS@E, ArcGIS, Maximo, PI Historian, и системой загрузки данных, разработанной Fingrid (рис. 2). Эти интерфейсы поддерживают множество вариантов применения, связанных с исследованием планирования и моделированием сети, использованием интегрированных данных из системы управления активами. Проект ELVIS решает некоторые из наиболее серьезных проблем в управлении активами, обеспечивает бесперебойный обмен информацией между несколькими продуктами на каждом этапе рабочих процессов управления активами и планирования

работы энергосистемы. В результате у Fingrid появилась система управления активами, которая повышает эффективность бизнес-процессов, производительность, снижает затраты, повышает надежность, удовлетворенность клиентов, обеспечивает более эффективное и действенное принятие решений.

## ПРИМЕР РЕАЛИЗАЦИИ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ДЛЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Примером создания цифрового двойника для распределительных сетей является проект интеграции геоинформационной системы (ГИС) и ПО PSS SINCAL, реализованный в словацкой компании VSE Group (часть European RWE Group).

В группу VSE, являющуюся частью европейской группы RWE, входят несколько компаний, одна из которых — VSD, оператор распределительной системы в Словакии. Ежегодно энергокомпания передает 3800 ГВт·ч электроэнергии в географическом районе, эквивалентном одной трети восточной Словакии, или около 16 200 кв. км. Распределительная сеть обслуживает более 610 000 домашних хозяйств с помощью 34 подстанций 110/22 кВ и 6000 подстанций 22/0,4 кВ. Общая протяженность ВЛ 110 кВ, 22 кВ и 0,4 кВ и кабельных сетей составляет 21 тыс. км [4].

К 2009 г. компания установила большое количество IT-систем (SCADA, ГИС, SAP), для эффективной работы которых требовалась актуальная модель электрической сети. Внедрение расчетного комплекса для электрических сетей было завершающим этапом создания цифрового

## ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ МОДЕЛИ В ПО PSS®SINCAL

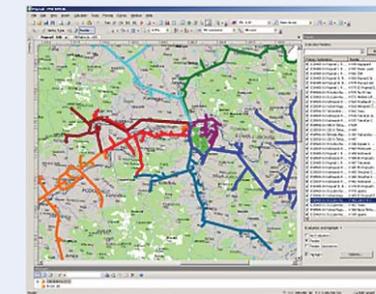


Рис. 3

## ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА В ПО PSS®SINCAL

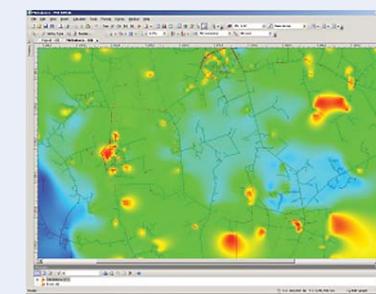


Рис. 4

двойника электрической сети. На тот момент модель создавалась вручную, что занимало много времени (на разработку модели всей электрической сети уходило около 500 ч), модель была не точной и не гибкой (любые

## ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК КОМПАНИИ FINGRID

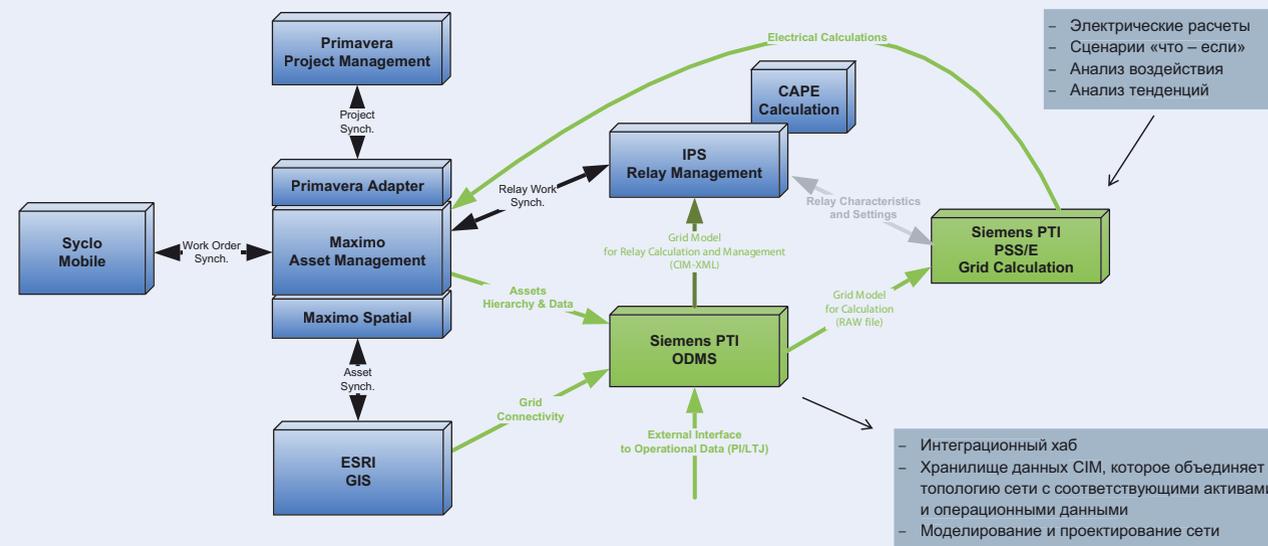


Рис. 2

**ИЗ УКАЗА ПРЕЗИДЕНТА  
РОССИИ ОТ 07.05.2018 № 204  
«О НАЦИОНАЛЬНЫХ ЦЕЛЯХ  
И СТРАТЕГИЧЕСКИХ ЗАДАЧАХ  
РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ НА ПЕРИОД  
ДО 2024 ГОДА».**

15. Правительству Российской Федерации [...] разработать и до 1 октября 2018 г. утвердить комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры, предусматривающий обеспечение в 2024 году: [...]

в) гарантированного обеспечения доступной электроэнергией, в том числе за счет:

[...] развития централизованных энергосистем, включая модернизацию генерирующих мощностей тепловых, атомных и гидроэлектростанций в соответствии с потребностями социально-экономического развития;

[...] внедрения интеллектуальных систем управления электросетевым хозяйством на базе цифровых технологий.

изменения в сети требовали внесения обновлений в модель). В 2011 г. состоялся тендер, в результате которого было выбрано программное обеспечение PSS SINICAL (рис. 3, 4 на с. 35) — расчетный комплекс для электрических сетей, основанный на открытой базе данных с удобным интерфейсом с возможностью представления сетей с географической привязкой. Критериями отбора ПО для создания двойника были качество модели распределительной сети и время создания данной модели.

Проект цифрового двойника состоял в создании адаптера, представля-

ющего интерфейс между двумя стандартизированными программными продуктами. Адаптер считывает данные в ГИС и переводит их в формат, считываемый ПО PSS@SINICAL.

Кроме ГИС адаптер не связан ни с какой другой системой типа SCADA или SAP. После преобразования данных из ГИС вспомогательная информация (базы данных) добавляется непосредственно в преобразованную адаптером базу данных. С помощью данной функции можно добавлять данные о параметрах оборудования и защиты, включая параметры оборудования низкого напряжения. Также используются измеренные значения мощности на фидерах для корректирования значений нагрузок (заданных в модели максимальными значениями) для получения модели сети, близкой к реальному состоянию сети. Вспомогательные базы данных подготовлены администраторами VSE Group. Это оказалось намного проще, чем создание интерфейсов для остальных подсистем.

Благодаря автоматическому преобразованию данных, пользователь может создать точную модель распределительной сети за короткое время. В прошлом моделирование одной из областей среднего напряжения, примерно одной восьмой всей системы VSE Group, занимало до 500 ч. Сейчас решение с автоматическим преобразованием данных создает более точную модель сети аналогичного размера значительно быстрее — максимум за 3 ч.

Решение, внедренное в VSE Group, значительно улучшило качество анализа распределительной сети. Специалист по перспективному развитию теперь может уделять больше времени анализу сети, вместо того, чтобы вручную создавать и поддерживать модель сети. Поскольку это преобразование 1:1 из ГИС, результаты различных расчетов могут

быть легко сопоставлены с другими системами и связаны с оборудованием в реальной сети. Например, в настоящее время результаты расчета режима для сети среднего напряжения используются в качестве одного из критериев приоритизации обслуживания оборудования.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, цифровые двойники как для магистральных, 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 и оценивать износ оборудования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров А.Ю. Открывая цифровизацию. Записки генерального директора. М.: Экономика, 2018.
2. Куприяновский В.П., Тищенко П.А., Секнин А.А., Магдеев Р.А., Герасимов С.И., Басин М.Б. Влияние моделей данных стандарта CIM на ГИС-моделирование сетевых энергетических предприятий // ArcReview, 2012, № 2 (61). URL: [https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=7433&SECTION\\_ID=251](https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=7433&SECTION_ID=251)
3. Видео ролик о результатах реализации Fingrid проекта ELVIS. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=OwXrqIIBLzE>.
4. Tomcik J., Mento P., Serdula J. Distributed Generation Drives System Planning // Transmission & Distribution World, 2013, № 3 (18). URL: <http://eepr.ru/images/arhiv/tdwr/2013/TDWR-3-2013.pdf>.



# Приборы для выполнения требований СТО 34.01-23.1-001-2017 "Объем и нормы испытаний электрооборудования"

реклама



п. 33.2 СТО

## Прибор для испытаний аккумуляторных батарей подстанций толчковым током ТАБ-1

- Измерение напряжения АБ на холостом ходу
- Измерение напряжения АБ под нагрузкой
- Вычисление разности напряжений (просадки)
- Не имеет отечественных аналогов



п. 17.4 СТО

## Измеритель силы контактного нажатия ламелей высоковольтных разъединителей CMP-1

- Измерение усилия контактного нажатия ламелей электрических ножевых аппаратов врубного типа:
  - разъединителей 10...750 кВ
  - ячеек КРУ 6...10 кВ
- Единственный прибор такого рода, внесенный в Госреестр СИ



п. 15.4 СТО

## Стабилизированный источник постоянного тока для испытания выключателей РИП-2

- Контроль величины минимального напряжения включения и выключения высоковольтных выключателей при периодической ревизии, а также после ремонта
- Не имеет отечественных аналогов

