АРХИТЕКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КАК ИНСТРУМЕНТ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

АВТОРЫ:

А.В. ИВАНОВ,
В.С. ЧАЙКИН,
«РОССЕТИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР» (АО «ФИЦ»)

Е.Н. СОСНИНА,
Д.Т.Н., НГТУ
ИМ. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА

Нормативная база Международной электротехнической комиссии (МЭК), направленная на достижение взаимодействия систем/устройств/компонентов в интеллектуальной энергетической системе (ИЭС), содержит десятки документов. При этом текущие задачи цифровой трансформации электрических сетей (например, задача гармонизации CIM-модели и моделей данных МЭК 61850) требуют системного использования нормативной базы с четким пониманием границ применения отдельных серий стандартов (61850, 61400–25, 61970, 61968, 62325 и др.). С этой целью описана разработанная МЭК эталонная архитектура (Reference Architecture), наглядно иллюстрирующая области применения отдельных документов. В основе эталонной архитектуры лежит архитектурная модель ИЭС (Smart Grid Architecture Model, SGAM) — концептуальное представление ИЭС, учитывающее аспекты топологии сети, иерархию уровней ее управления и уровни взаимодействия. Валидность архитектурной модели ИЭС подтверждается ее широким использованием в зарубежных исследованиях. В статье в качестве инструмента менеджмента исследований рассматривается применение архитектурной модели ИЭС для документирования особенностей отдельного проекта и определения не затронутых исследованиями областей.

Ключевые слова: интеллектуальная энергетическая система; МЭК 61850; архитектурная модель ИЭС; эталонная архитектура; CIM-модель; цифровая трансформация.

ВВЕДЕНИЕ

Переход к интеллектуальной энергетической системе (ИЭС, Smart Grid) — современный тренд развития электроэнергетики, подразумевающий объединение энергоустановок производителей и потребителей активно-адаптивной сетью с интеллектуальной, иерархической и высокоавтоматизированной системой управления [1].

Принципиальное отличие ИЭС от традиционной энергосистемы — ее более децентрализованный характер ввиду интеграции распределенных источников энергии и активного участия потребителей в работе энергосистемы [1]. Поэтому взаимодействие (interoperability) отдельных систем/устройств/компонентов — основа функционирования ИЭС.

Для обеспечения данного взаимодействия Международная электротехническая комиссия (МЭК) разрабатывает нормативную базу, где ключевыми являются стандарты серии 61850 и стандарты, связанные с CIM-моделью (CIM — Common Information Model). Объем нормативной базы составляет тысячи страниц: только в актуальную серию МЭК 61850 входит более 40 документов [2]. Очевидно, что при таком объеме для эффективного управления и развития базы требуется инструмент администрирования.

В свою очередь, у конечных пользователей нормативной базы возникает потребность в наглядном представлении границ применимости отдельных документов базы:

- компании, не имеющие опыта работы с вышеуказанными стандартами МЭК, вынуждены много времени тратить на выбор необходимых для их задач документов;
- компании, уже имеющие опыт применения МЭК 61850 и CIM, решают задачи «на стыке» стандартов из разных серий (например, задачу гармонизации моделей данных).

Эффективное развитие ИЭС путем непрерывного внедрения инноваций требует согласованных и скоординированных действий от энергетических компаний и, как следствие, их активного взаимодействия по передаче имеющегося опыта и/или результатов исследований. Коллективное взаимодействие возможно исключительно при условии одинакового концептуального представления об ИЭС у всех участников.

Для представления ИЭС в наглядном виде с концептуальной точки зрения и отражения всех ее важнейших аспектов разработана архитектурная модель ИЭС (Smart Grid Architecture Model, SGAM) [4]. Обобщающий взгляд на нормативную базу, предназначенную для обеспечения взаимодействия между системами/устройствами/компонентами в ИЭС, представлен с помощью эталонной архитектуры (Reference Architecture) [4].

В первой части статьи описаны архитектурная модель ИЭС, эталонная архитектура и их использование экспертами МЭК в качестве инструментов развития и администрирования нормативной базы.

Во второй части рассмотрена архитектурная модель ИЭС в более широком смысле — как инструмент системной инженерии для администрирования научных исследований, объектом или предметом которых является ИЭС. В качестве примера такого использования приводится представление результатов НИР «Разработка профилей информационного взаимодействия логических узлов для реализации функций РЗА и АСУ ТП подстанций с высшим напряжением 110–220 кВ и их описание в виде файлов на языке XML», выполненной «НТЦ Россети» для АО «Янтарьэнерго».

ЧАСТЬ I

АРХИТЕКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ИЭС КАК ОСНОВА ЭТАЛОННОЙ АРХИТЕКТУРЫ ДЛЯ ДОКУМЕНТОВ МЭК

ИЭС является сложной, комплексной системой [3]. В зарубежных источниках такие системы зачастую обозначаются термином System-of-Systems [4, 5]. ИЭС как система должна объединять:

- устройства и подсистемы независимо от их производителя;
- множество различных компаний энергетического сектора (генерирующие, сетевые компании, компании оперативно-диспетчерского управления и др.);
- миллионы промышленных, коммерческих и бытовых потребителей;
- различные нормативно-правовые условия.

Такая многогранность ИЭС как объекта исследования и стандартизации требует привлечения большого числа экспертов из разных стран и профессиональных областей. Для обеспечения их согласованной коллективной работы Технический комитет 57 МЭК использует архитектурную модель ИЭС, отражающую всех участников ИЭС (actor) и их всевозможные взаимодействия [4].

Рассмотрим архитектурную модель ИЭС подробно.

ИЭС, как и традиционную энергосистему, можно рассматривать с двух точек зрения: с позиции протекающих электромагнитных процессов, что отражает топологию сети, и с позиции существующих информационных потоков, что отражает иерархию уровней управления энергосистемой. Схематично точки зрения можно представить как оси абсцисс и ординат прямоу-

ПЛОСКОСТЬ АРХИТЕКТУРНОЙ МОДЕЛИ ИЭС (SGAM PLANE)

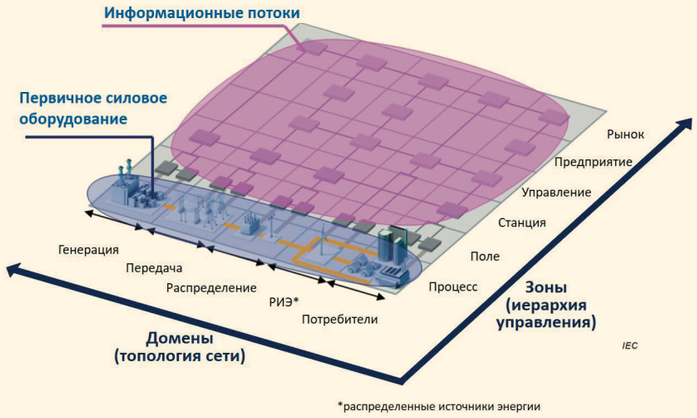

Рис. 1

АРХИТЕКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ИЭС

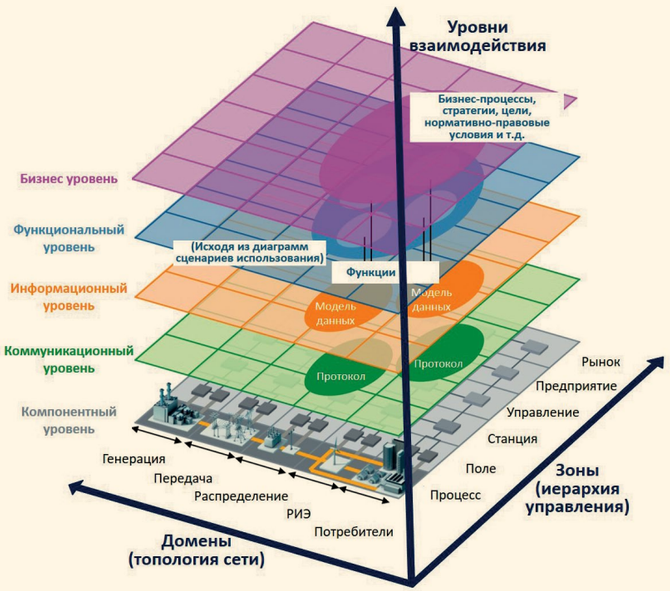

Рис. 2

гольной системы координат (рис. 1). Образованная осями плоскость, разбитая на отдельные участки доменами и зонами, — плоскость архитектурной модели ИЭС (SGAM plane) [4].

Описания каждого отдельного домена и каждой зоны представлены соответственно в табл. 1 и 2.

Как отмечалось ранее, взаимодействие систем/устройств/компонентов является чрезвычайно важным аспектом ИЭС, поэтому должно быть отображено в архитектурной модели ИЭС наряду с топологией и иерархией уровней управления. Условия обеспечения взаимодействия и его декомпозиция на отдельные уровни исследованы рядом организаций [13, 14]. Опираясь на результаты этих исследований, взаимодействие следует рассматривать как совокупность пяти уровней: компонентного, коммуникационного, информационного, функционального и бизнес-уровня (рис. 2).

Каждый из уровней полностью охватывает плоскость архитектурной модели ИЭС. Для обеспечения взаимодействия любых доменов (или участников внутри одного домена) в любой зоне (иначе говоря, на любом уровне иерархии управления) необходима согласованность на всех пяти уровнях.

Описания каждого отдельного уровня представлены в табл. 3.

Таким образом, архитектурная модель ИЭС наглядно представляет важнейшие аспекты ИЭС. Отображение (mapping) документов МЭК, регламентирующих модели данных, сервисы, протоколы и т.д., на архитектурной модели ИЭС формирует эталонную архитектуру. Эталонная архитектура — это абстрагированное (не учитывающее детали) и обобщенное (объединяющее множество позиций и взглядов) представление о том, как и на основе каких документов МЭК системы/устройства/компоненты ИЭС должны взаимодействовать.

ОПИСАНИЯ ДОМЕНОВ

Домен	Описание
Генерация	Инфраструктура по централизованному производству электроэнергии (крупные тепло-, гидро-, атомные и другие электростанции)
Передача	Инфраструктура по передаче электрической энергии на дальние расстояния (магистральные электрические сети)
Распределение	Инфраструктура по распределению электрической энергии для питания потребителей (распределительные электрические сети)
РИЭ (распределенные источники энергии)	Инфраструктура по распределенному производству электроэнергии (источники электроэнергии, подключенные к распределительным электрическим сетям)
Потребители	Инфраструктура по потреблению электроэнергии и выдаче ее излишков обратно в сеть (традиционные и «активные» потребители)

Таблица 1

Главные задачи эталонной архитектуры:

- координация разработчиков стандартов, связанных с коммуникационными и информационными технологиями, путем разъяснения фундаментальной цели информационного обмена между системами/устройствами/компонентами;
- координация разработчиков приложений (практических реализаций стандартизованных коммуникационных и информационных технологий) путем описания ожиданий от работы данных приложений с позиции общего видения;
- координация компаний энергетического сектора (конечных заказчиков) путем указания наиболее эффективных решений по внедрению и интеграции разработанных приложений.

Эталонная архитектура описана в МЭК 623571. Серия МЭК 61850 и стандарты, связанные с CIM-моделью, — ключевые документы нормативной базы. Вопросы информационной безопасности, правил профилирования и гармонизации являются общими, поэтому серии МЭК 62351 и 62361 применимы как к области 61850, так и к области CIM [7–11]. Методология сценариев использования, описанная в МЭК 62913 и МЭК 62559 [5, 12], широко используется при описании требований к системам/устройствам/компонентам, поэтому является «фундаментом» упомянутых документов МЭК.

Так как ключевыми документами являются МЭК 61850 и стандарты, связанные с CIM-моделью, эталонная архитектура охватывает информационный и коммуникационный уровни взаимодействия.

Эталонная архитектура представлена на рис. 3 как «вид сверху» на информационный уровень архитектурной модели ИЭС. Информационный уровень выделен как приоритетный, так как модели данных не зависят от темпов развития технологий и их сменяемости.

ЧАСТЬ II

ПРИМЕНЕНИЕ АРХИТЕКТУРНОЙ МОДЕЛИ ИЭС КАК ИНСТРУМЕНТА СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

Успех использования архитектурной модели ИЭС при разработке стан-

ОПИСАНИЯ ЗОН

Зона	Описание
Процесс	Непосредственное управление единицами силового первичного оборудования (генераторы, трансформаторы, силовые выключатели, линии электропередачи, измерительные трансформаторы, электроприемники и т.д.)
Поле	Управление через устройства защиты, управления и мониторинга (терминалы защиты, контроллеры присоединения, интеллектуальные электронные устройства и т.д., использующие для управления данные из зоны процесса)
Станция	Управление через системы, использующие агрегированные данные из зоны поля (SCADA-системы)
Управление	Управление через системы, охватывающие целый домен (центр управления сетями, EMS- и DMS-системы, виртуальная электростанция и т.д.)
Предприятие	Управление коммерческими и организационными процессами предприятий (управление активами и закупками, логистика, выставление счетов потребителям и т.д.)
Рынок	Управление рыночными операциями, осуществляемыми при производстве, передаче, распределении и потреблении электроэнергии (управление торговлей на оптовом и розничном рынках электроэнергии)

Таблица 2

ОПИСАНИЯ УРОВНЕЙ

Уровень	Описание
Бизнес	Предназначен для согласования бизнес-моделей, нормативно-правовых условий, стратегий, политик, структур рынков и т.д.
Функциональный	Предназначен для согласования функций и сервисов систем/устройств/компонентов, без учета деталей их реализации. Функции выделяются исходя из диаграмм сценариев использования (use case diagram)
Информационный	Предназначен для согласования передаваемой между функциями информации и форм ее представления (моделей данных)
Коммуникационный	Предназначен для согласования коммуникационных протоколов и механизмов, используемых для передачи информации
Компонентный	Предназначен для согласования физического распределения систем/устройств/компонентов по ИЭС

Таблица 3

ЭТАЛОННАЯ АРХИТЕКТУРА СОГЛАСНО МЭК 62357-1

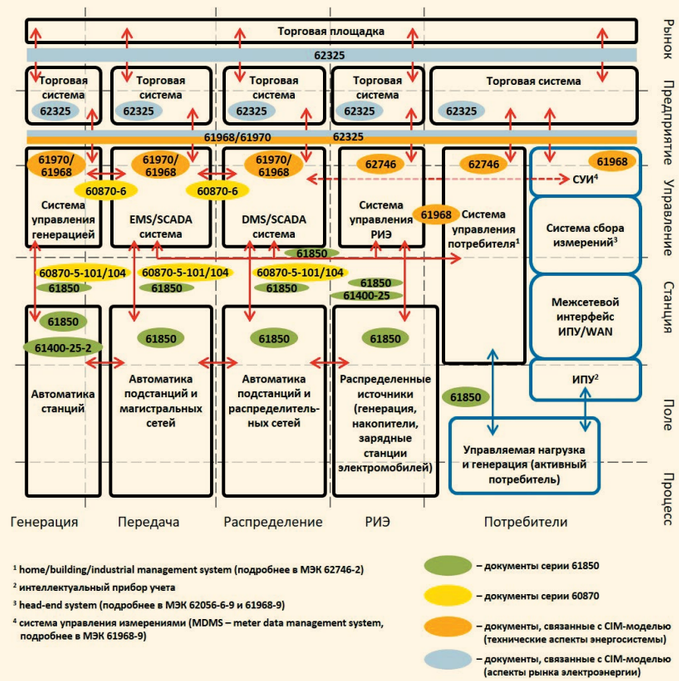

Рис. 3

дартов привлек внимание множества экспертов, участвующих в исследованиях и реализации комплексных систем (System-of-Systems). Процесс реализации комплексной системы в рамках конкретного проекта зачастую осуществляется на основе сформированной комбинации из программных продуктов, алгоритмов, технологий и т.д. [15]. Но индивидуальность таких комбинаций в совокупности с отсутствием эталонного инструмента по их документированию существенно усложняет для будущих проектов преемственность накопленного опыта и достигнутых результатов. Как показано на примере разработки стандартов, необходимость такого инструмента документирования архитектурных особенностей комплексных систем крайне ощутима, если исследование проводится экспертами из разных профессиональных областей.

В настоящее время архитектурную модель ИЭС успешно используют уже не только для рассмотрения технических аспектов функционирования ИЭС [16–20], но и для решения задач экономической эффективности [21, 22], оценки рисков информационной безопасности [23, 24] и др. Более того, на базе архитектурной модели ИЭС разработан ряд аналогичных моделей для других областей («Индустрия 4.0», «умный город» и др.) [26–28]. Такая степень универсальности архитектурной модели ИЭС указывает на эффективность ее использования в качестве инструмента системной инженерии для анализа и документирования особенностей реализации комплексных систем (System-of-Systems).

Необходимость в таком инструменте документирования возникает сегодня в рамках реализации концепции «Цифровая трансформация — 2030».

Концепция подразумевает внедрение принципов и технологий, представленных двумя направлениями — CIM-модель и МЭК 61850. Если раньше научно-исследовательские работы

по данным направлениям можно было проводить практически независимо, то текущий вектор научных исследований АО «ФИЦ» и АО «НТЦ ФСК ЕЭС» направлен на решение задач, находящихся на их пересечении. Например, к таким задачам относится гармонизация CIM-модели и моделей МЭК 61850.

Раскроем термин «гармонизация». Использование единой семантики рассматривалось экспертами МЭК как необходимое условие для обеспечения взаимодействия (interoperability) отдельных систем/устройств/компонентов уже на стадии разработки первых редакций стандартов, связанных с CIM-моделью, и серии МЭК 61850. Однако CIM-модель и модели МЭК 61850 с самого начала предназначались для информационного взаимодействия на разных уровнях (см. рис. 3) и их разрабатывали разные рабочие группы. Несогласованность в разработке моделей с течением времени привела к невозможности их быстрой совместной интеграции: информационные объекты, имеющие идентичное семантическое значение, в моделях могут быть представлены по-разному (рис. 4). Совокупность мер, направленных на решение данной проблемы, называется гармонизацией.

В качестве примера использования архитектурной модели ИЭС для документирования рассмотрим НИР, выполненную «НТЦ Россети» для АО «Янтарьэнерго», на тему «Разработка профилей информационного взаимодействия логических узлов для реализации функций РЗА и АСУ ТП подстанций с высшим напряжением 110–220 кВ и их описание в виде файлов на языке XML».

Объектом исследования НИР являлись функции РЗА и АСУ ТП подстанций с высшим напряжением 110–220 кВ, поэтому затрагивались домены «Передача» и «Распределение» (см. табл. 1) и зоны «Процесс», «Поле» и «Станция» (см. табл. 2). Исходя из этого, область НИР может быть наглядно

СРАВНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ МЭК 61850 И CIM НА ПРЕДМЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ, ИМЕЮЩИХ ИДЕНТИЧНОЕ СЕМАНТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

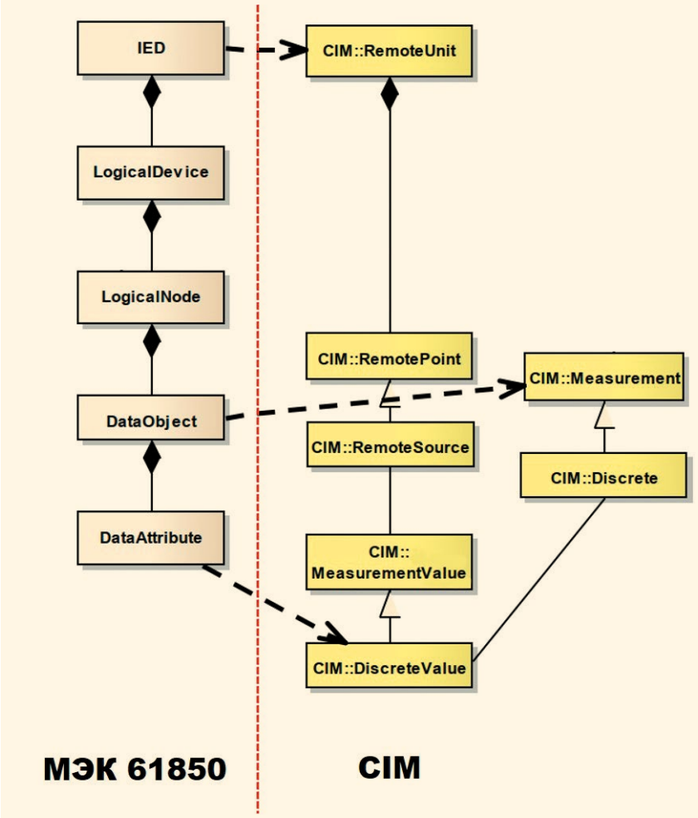

Рис. 4

представлена на плоскости архитектурной модели (SGAM plane) (рис. 5).

В рамках НИР были решены следующие задачи:

1) формирование перечня используемых функций РЗА и АСУ ТП;
2) формирование наборов логических узлов, необходимых для реализации выделенных функций РЗА и АСУ ТП;
3) разработка формализованных (машиночитаемых) описаний информационного взаимодействия логических узлов.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ОБЛАСТИ ВЫПОЛНЕННОЙ НИР С ПОМОЩЬЮ ПЛОСКОСТИ АРХИТЕКТУРНОЙ МОДЕЛИ (SGAM PLANE)

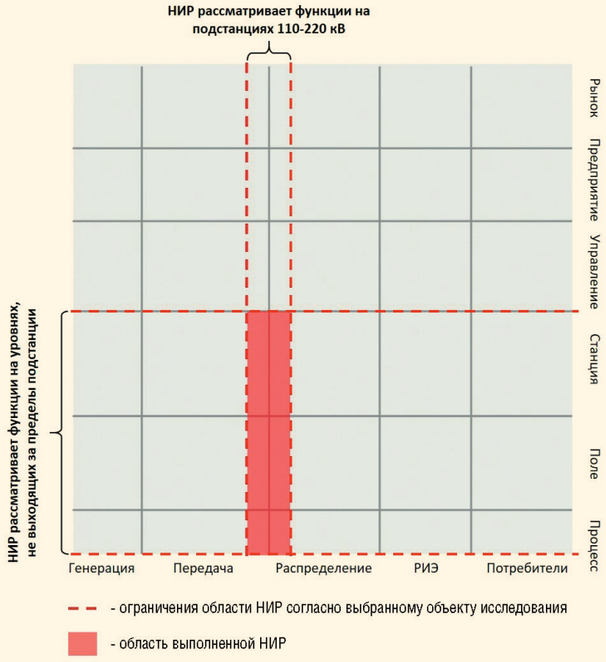

Рис. 5

Перечень используемых функций РЗА и АСУ ТП был сформирован на основании анализа действующей нормативной и переданной АО «Янтарьэнерго» проектной документации. Модели информационного взаимодействия логических узлов представлялись в графической нотации, а также описывались с помощью элементов и атрибутов языка разметки SCL (System Configuration description Language).

Распределение функций по интеллектуальным электронным устройствам было выполнено для архитектуры III типа.

Исходя из перечисленных задач следует, что НИР затрагивает три уровня взаимодействия архитектурной модели ИЭС (см. табл. 3):

- функциональный (функции РЗА и АСУ ТП рассматриваются без учета алгоритмических особенностей, т. е. абстрагированно от деталей их реализации);
- информационный (логический узел — это ключевой элемент модели данных, отражающий передаваемые по коммуникационной сети данные);
- коммуникационный (язык разметки SCL, основанный на XML, позволяет согласовать передачу данных между устройствами независимо от их программно-аппаратной реализации).

Вопросы, связанные с бизнес-процессами и распределением функций по реальным физическим устройствам, в рамках работы затрагивались косвенно.

Использование архитектурной модели ИЭС для документирования области и особенностей выполненной НИР (рассмотренные участки энергосистемы и уровни управления, используемые модели данных и технологии и т. д.) упрощенно представлено на рис. 6.

При использовании специализированного программного обеспечения [29] пример, представленный на рис. 6, может быть детализирован до необходимого уровня: указание для каждой отдельной функции требуемых логических узлов, указание используемых для описания информационного взаимодействия SCL-элементов и атрибутов и т. д.

Использование архитектурной модели ИЭС как инструмента для документирования и наглядного представления области научной работы и ее результатов может повысить эффективность управления инновационной политикой. Такой подход унифицирует форму представления результатов, что упрощает их анализ и позволяет более точно определить области, еще не затронутые исследованиями. Особенно это актуально для крупных научно-исследовательских центров (АО «ФИЦ» и АО «НТЦ ФСК ЕЭС»), где исследования проводятся параллельно по множеству направлений.

ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АРХИТЕКТУРНОЙ МОДЕЛИ ИЭС ДЛЯ ДОКУМЕНТИРОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЫПОЛНЕННОЙ «НТЦ РОССЕТИ» НИР «РАЗРАБОТКА ПРОФИЛЕЙ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЛОГИЧЕСКИХ УЗЛОВ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ФУНКЦИЙ РЗА И АСУ ТП ПОДСТАНЦИЙ С ВЫСШИМ НАПРЯЖЕНИЕМ 110–220 КВ И ИХ ОПИСАНИЕ В ВИДЕ ФАЙЛОВ НА ЯЗЫКЕ XML»

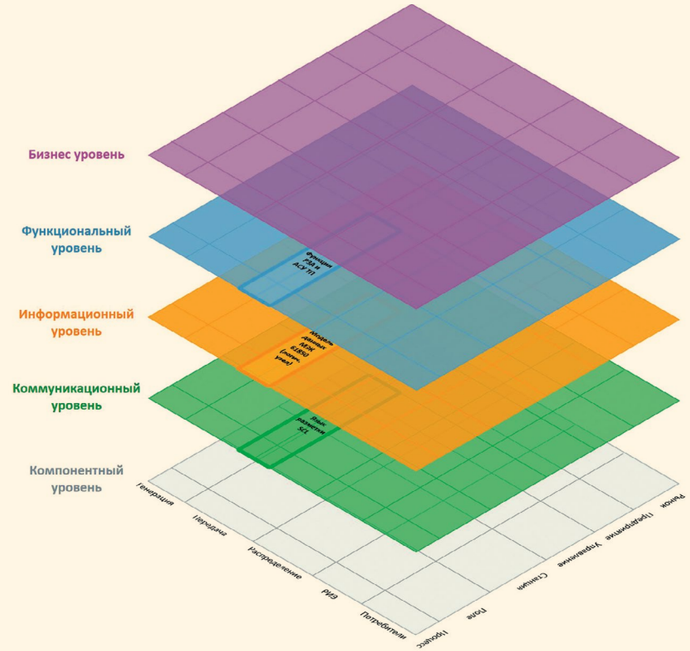

Рис. 6

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ИЭС является комплексной системой. Сложность ИЭС как системы обусловлена двумя взаимосвязанными факторами — внедрением распределенных источников энергии и информационно-коммуникационных технологий, предназначенных для обеспечения взаимодействия систем/устройств/компонентов. Обязательными условиями обеспечения взаимодействия являются наличие общепринятой нормативной базы и ее корректное применение на практике.

Очевидно, что пересмотр нормативной базы и выявление областей, не затронутых существующими документами, но исследование которых крайне необходимо для развития ИЭС, должны осуществляться упорядоченно и системно. Для этого МЭК успешно использовала архитектурную модель ИЭС.

Отображение (mapping) документов МЭК (главным образом разделов серии 61850 и документов, связанных с CIM-моделью) на архитектурной модели ИЭС формирует эталонную архитектуру. Эталонная архитектура позволяет пользователям (энергетическим компаниям, производителям оборудования и т. д.) ориентироваться в многообразии документов МЭК, направленных на обеспечение взаимодействия систем/устройств/компонентов в ИЭС, и определять области их применения. Это, в свою очередь, может значительно ускорить прикладные исследования, особенно в случае рассмотрения вопросов, находящихся на стыке двух разных серий международных документов (например, вопросы информационного взаимодействия подстанций с центром управления сетями).

Архитектурная модель ИЭС также может быть полезным для энергетических компаний инструментом менеджмента исследований, связанных с затронутыми эталонной архитектурой документами МЭК. Аналогично отображению документов МЭК, на архитектурной модели ИЭС могут быть отображены область и результаты НИР/НИОКР, что наглядно обозначит объект и границы исследования. Анализ представленных в таком виде результатов обеспечит системный подход к определению не затронутых исследованиями областей и, как следствие, к ежегодному формированию заявок на НИР/НИОКР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Интеллектуальная энергетическая система России: проект реализации технологической платформы//Российское энергетическое агентство. 2010. URL: http://rosenergo.gov.ru/(Дата обращения: 04.04.2022).
2. МЭК 61850–1 (2013) Сети связи и системы автоматизации энергосистем общего пользования. Часть 1. Введение и обзор. (IEC 61850–1 (2013) Communication networks and systems for power utility automation — Part 1: Introduction and overview).
3. Reinhard H., de Weck O.L., Fricke E., Vössner S., Systems Engineering. Fundamentals and Applications/Reinhard H., de Weck O.L., Fricke E., Vössner S. Cham: Birkhäuser, 2021.
4. МЭК 62357–1 (2016) Управление энергосистемами и связанный с ними обмен информацией. Часть 1. Эталонная архитектура. (IEC 62357–1 (2016) Power systems management and associated information exchange — Part 1: Reference architecture).
5. Gottschalk M., Uslar M., Delfs Ch., The Use Case and Smart Grid Architecture Model Approach. The IEC 62559–2 Use Case Template and the SGAM Applied in Various Domains/Gottschalk M., Uslar M., Delfs Ch. Cham: Springer, 2017.
6. МЭК 62357 (2003) Управление энергосистемы и связанные с ней коммуникации. Информационные ссылки на архитектуру для моделей объекта, услуги и протоколы. (IEC 62357 (2003) Power system control and associated communications — Reference architecture for object models, services and protocols).
7. МЭК 62351–1 (2007) Управление энергосистемами и связанный с ним обмен информацией. Безопасность данных и коммуникаций. Часть 1. Безопасность коммуникационных сетей и систем. Введение в вопросы безопасности. (IEC 62351–1 (2007) Power systems management and associated information exchange — Data and communications security — Part 1: Communication network and system security — Introduction to security issues).
8. МЭК 62361–102 (2018) Менеджмент энергетических систем и связанный с ним обмен информацией. Долгосрочное взаимодействие. Часть 102. Гармонизация CIM — IEC 61850. (IEC 62361–102 (2018) Power systems management and associated information exchange — Interoperability in the long term — Part 102: CIM — IEC 61850 harmonization).
9. МЭК 62361–103 (2018) Менеджмент энергетических систем и связанный с ним обмен информацией. Долгосрочное взаимодействие. Часть 103. Стандартное профилирование. (IEC 62361–103 (2018) Power systems management and associated information exchange — Interoperability in the long term — Part 103: Standard profiling).
10. МЭК 61968–100 (2022) Интеграция приложений в электроэнергетику общего пользования. Системные интерфейсы для управления распределением. Часть 100. Профили реализации. (IEC 61968–100 (2022) Application integration at electric utilities — System interfaces for distribution management — Part 100: Implementation profiles).
11. МЭК 61970–1 (2005) Программный интерфейс для систем управления энергией (EMS-API). Часть 1. Руководящие указания и общие требования. (IEC 61970–1 (2005) Energy management system application program interface (EMS-API) — Part 1: Guidelines and general requirements).
12. МЭК 62559–1 (2019) Методология вариантов использования. Часть 1. Понятия и процессы для стандартизации. (IEC 62559–1 (2019) Use case methodology — Part 1: Concept and processes in standardization).
13. Smart Grid Reference Architecture//CEN-CENELEC-ETSI Smart Grid Group. 2012. URL: https://www.cencenelec.eu/areas-of-work/cen-cenelec-topics/smart-grids-and-meters/smart-grids/(Дата обращения: 04.04.2022).
14. GridWise Interoperability Context-Setting Framework//The Grid Wise Architecture Council. URL: https://gridwiseac.org/index.php/publications/(Дата обращения: 04.04.2022).
15. Uslar M., Rohjans S., Neureiter Ch., Pröstl Andrén F., Velasquez J., Steinbrink C., Efthymiou V., Migliavacca G., Horsmanheimo S., Brunner H., Strasser I. T. Applying the Smart Grid Architecture Model for Designing and Validating System-of-Systems in the Power and Energy Domain: A European Perspective//Energies. 2019. Special Issue: Methods and Concepts for Designing and Validating Smart Grid Systems. P. 61–100.
16. Santodomingo R., Uslar M., Goring A., Gottschalk M., Nordstrom L., Saleem A., Chenine M. SGAM-based methodology to analyse Smart Grid solutions in DISCERN European research project//In Proceedings of the 2014 IEEE International Energy Conference (ENERGYCON). Cavtat, 1316 May 2014. P. 751–758.
17. Uslar M., Heussen K. Towards Modeling Future Energy Infrastructures — The ELECTRA System Engineering Approach//In Proceedings of the 2016 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe). Ljubljana, 912 October 2016. P. 1–6.
18. Horsmanheimo K.-T., Kuusela T., Dall J., Pröstl A., Stephan K., Baut G., ICT Architecture Design Specification, D3.2//SmartNet Consortium Homepage. 2017. URL: http://smartnet-project.eu/(Дата обращения: 04.04.2022).
19. Strasser T., Pröstl Andren F., Widl E., Lauss G., Jong ED., Calin M., Sosnina M., Khavari A., Rodriguez E., Kotsampopoulos P., et al. An Integrated Pan-European Research Infrastructure for Validating Smart Grid Systems//Elektrotechnik und Informationstechnik. 2018. № 135. P. 616–622.
20. Pröstl Andren F., Strasser T., Langthaler O., Veichtlbauer A., Kasberger C., Felbauer G. Open and Interoperable ICT Solution for Integrating Distributed Energy Resources into Smart Grids//In Proceedings of the 21th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA'2016). Berlin, 69 September 2016.
21. Razo-Zapata I. S. A Method to Assess the Economic Feasibility of New Commercial Services in the Smart Grid//In Proceedings of the IEEE 10th International Conference on Service-Oriented Computing and Applications (SOCA). Kanazawa, 2225 November 2017. P. 90–97.
22. Razo-Zapata I. S., Shrestha A. Proper E. An assessment framework to determine the strategic value of IT architectures in smart grids//In Proceedings of the 28th Australasian Conference on Information Systems (ACIS 2017). Hobart, 4–6 December 2017.
23. Langer L., Skopik F., Smith P., Kammerstetter M. From old to new: Assessing cybersecurity risks for an evolving smart grid//Computers & Security. 2016. № 62. P. 165–176.
24. Yesudas R., Clarke R. A framework for risk analysis in smart grid//In International Workshop on Critical I nformation Infrastructures Security (CRITIS 2013). Amsterdam, 16–18 September 2013. P. 84–95.
25. Heidel R., Hankel M., Döbrich U., Hoffmeister M. The Reference Architecture Model RAMI 4.0 and the Industrie 4.0 component/Heidel R., Hankel M., Döbrich U., Hoffmeister M. Berlin: VDE Verlag, 2017.
26. Gottschalk M., Uslar M., Delfs Ch. The Use Case and Smart Grid Architecture Model Approach. The IEC 62559–2 Use Case Template and the SGAM Applied in Various Domains. Cham: Springer, 2017.
27. Neureiter C., Engel S., Rohjans S., Dänekas C., Uslar M. Addressing the complexity of distributed smart city systems by utilization of model driven engineering concepts//In Proceedings of the VDE-Kongress 2014 — Smart Cities. Frankfurt, 20–21 October 2014. P. 1–6.
28. Weinert B., Uslar M., Hahn A. Domain-Specific Requirements Elicitation for Socio-Technical System of Systems//In Proceedings of the IEEE 13th System of Systems Engineering Conference (SoSE 2018). Paris, 19–22 June 2018.
29. Modelling aid for the Smart Grid Architecture Model//SGAM Toolbox. URL: https://sgam-toolbox.org/(Дата обращения: 04.04.2022).
30. Концепция интеллектуальной электроэнергетической системы России с активно-адаптивной сетью / под ред. Е.В. Фортова, А.А. Макарова. М.: ФСК ЕЭС. 2012.

РОССЕТИ

УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА: ПАО «РОССЕТИ»

ЭНЕРГИЯ ЕДИНОЙ СЕТИ

МЕДИАКИТ 2023

УЧРЕДИТЕЛЬ: ПАО «Россети»
ИЗДАТЕЛЬ: АО «НТЦ ФСК ЕЭС»

+ 7 (495) 727-19-09
editor@ntc-power.ru

УМНЫЙ ЖУРНАЛ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

ЦЕЛЕВАЯ АУДИТОРИЯ

СЕТЕВЫЕ КОМПАНИИ
РОССЕТИ
ЛИЧНО В РУКИ
ФСК ЕЭС
ПРОИЗВОДИТЕЛИ ОБОРУДОВАНИЯ
СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР
ИНЖЕНЕРЫ
РУКОВОДИТЕЛИ
МИНЭНЕРГО
МЕНЕДЖЕРЫ
НИИ
СПЕЦИАЛИСТЫ
МРСК
ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ
ВУЗЫ
РАН
ЭНЕРГОХОЛДИНГИ
ЦЕЛЕВАЯ РАССЫЛКА
МОЛОДЫЕ СПЕЦИАЛИСТЫ
СТУДЕНТЫ
ПМЭС
ГЛАВНЫЕ ИНЖЕНЕРЫ
ПРОЕКТИРОВЩИКИ
МЭС
ПОСТАВЩИКИ ОБОРУДОВАНИЯ

WWW.ЭНЕРГИЯ-ЕДИНОЙ-СЕТИ.РФ