

УДК 62-9, 621, 629.039.58

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ SCL-ФАЙЛОВ ТИПА IID ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

В соответствии с требованиями серии стандартов МЭК 61850 проектирование электротехнических комплексов интеллектуальных электрических сетей должно выполняться с использованием SCL-файлов, представляющих данные в машиночитаемом виде. Принципы использования SCL-файлов типа SSD, CID, SCD и ICD, представленных в редакции 1 серии стандартов МЭК 61850, понятны и уже отработаны на практике. Редакция 2 серии расширила перечень типов SCL-файлов: одним из добавленных типов стал IID-файл. Анализ научных публикаций и нормативных документов показал, что описание IID-файла либо отсутствует, либо является очень кратким и не позволяет сформировать представление о назначении и принципах его использования. Анализ внутренних документов рабочей группы 10 Технического комитета 57 МЭК, предшествующих выпуску редакции 2 серии стандартов МЭК 61850, позволил объяснить причину введения IID-файла. В статье показаны важность и необходимость использования IID-файла при документировании изменений конфигурации интеллектуальных электронных устройств и обеспечении актуальности SCD-файла.

АВТОРЫ:

А.В. Иванов,
«Россети Научно-технический центр»

Е.Н. Соснина,
д.т.н., НГТУ им. Р.Е. Алексеева

Ключевые слова:
#электротехнические комплексы; #интеллектуальная электрическая сеть; #проектирование; #МЭК 61850; #язык разметки SCL; #IID-файл; #корпоративный профиль.



Введение

Главным требованием формирования и поддержки единой среды взаимодействия для управления электросетевым хозяйством является строгое следование стандартам представления данных [1–3]. Это изменяет процессы проектирования и эксплуатации электротехнических комплексов (ЭТК) электрических сетей нового поколения [4]. Под такими ЭТК понимаются гибкие системы передачи переменного электрического тока и высокоавтоматизированные подстанции. ЭТК интеллектуальной электрической сети (ИЭС) образуют многоуровневую систему энергетических и информационных связей, структура которой может быть представлена архитектурной моделью ИЭС [5].

Существенную роль в проектировании ЭТК ИЭС играет серия международных стандартов МЭК 61850. Если ранее областью применения МЭК 61850 была отдельная подстанция, то появившиеся в актуальных редакциях 2 и 2.1 изменения (например, новые коммуникационные протоколы R-GOOSE, R-SV; новые SCL-элементы Process и Line) указывают на ее расширение до группы подстанций, включая соединяющие их линии электропередачи.

Поэтому данные о топологии ИЭС, об используемом в ЭТК электрооборудовании и о конфигурациях интеллектуальных электронных устройств (ИЭУ) должны быть представлены в машиночитаемом виде с помощью языка разметки SCL, стандартизованного МЭК 61850 [6].

При этом следует отметить, что текущая практика реализации положений МЭК 61850 в большинстве случаев экономически целесообразна для подстанций высокого напряжения (220 кВ и выше). Однако переход к ИЭС подразумевает появление распределенных источников энергии в сетях среднего напряжения (6–110 кВ). Это в перспективе потребу-

ет внедрения в распределительные сети средств автоматизации, которые для формирования единой среды управления электросетевым хозяйством должны будут соответствовать требованиям МЭК 61850.

Цель (для чего) и принципы (как) использования SCL-файлов, появившихся уже в редакции 1 серии МЭК 61850 (SCL-файлы типов SSD, ICD, SCD и CID) [7], понятны и давно отработаны на практике, чего нельзя сказать об относительно новых типах SCL-файлов в редакции 2 серии МЭК 61850 [8]. Одним из таких файлов является SCL-файл типа IID.

Сравнение редакций серии МЭК 61850 в части использования SCL-файлов различных типов представлено в таблице.

Анализ зарубежных и отечественных научных публикаций показал, что описания IID-файла либо отсутствуют, либо даны очень кратко, что не позволяет сформировать понимание цели и принципов его использования [3, 9–24].

Существующие национальные стандарты Российской Федерации по своему содержанию идентичны соответствующим разделам серии стандартов МЭК 61850 редакции 1. Однако редакция 1 считается устаревшей. Актуальными редакциями являются 2 и 2.1. В соответствии с редакцией 2 разработан Корпоративный профиль

МЭК 61850 ПАО «ФСК ЕЭС» (далее — Профиль), отражающий положения серии МЭК 61850 на русском языке [25]. Согласно последней редакции Профиля, под IID-файлом понимается файл, применяемый для устройств с изменяемой информационной моделью в зависимости от необходимого функционала из перечня, доступного для данного устройства (п. 5.2.1 [25]), а его главным отличием от ICD-файла является наличие возможности расширения модели данных МЭК 61850, первоначально заложенной производителем (п. 5.5.4 [25]). Такое описание также не передает в полном объеме сути использования IID-файла, заложенной рабочей группой 10 Технического комитета 57 МЭК (далее — РГ 10 ТК 57).

Чтобы сформировать понимание цели и принципов использования IID-файла, перед авторами была поставлена задача раскрыть причины его появления, опираясь на рабочие внутренние документы РГ 10 ТК 57, предшествующие выпуску редакции 2 серии стандартов МЭК 61850.

Описание подхода для решения поставленной задачи

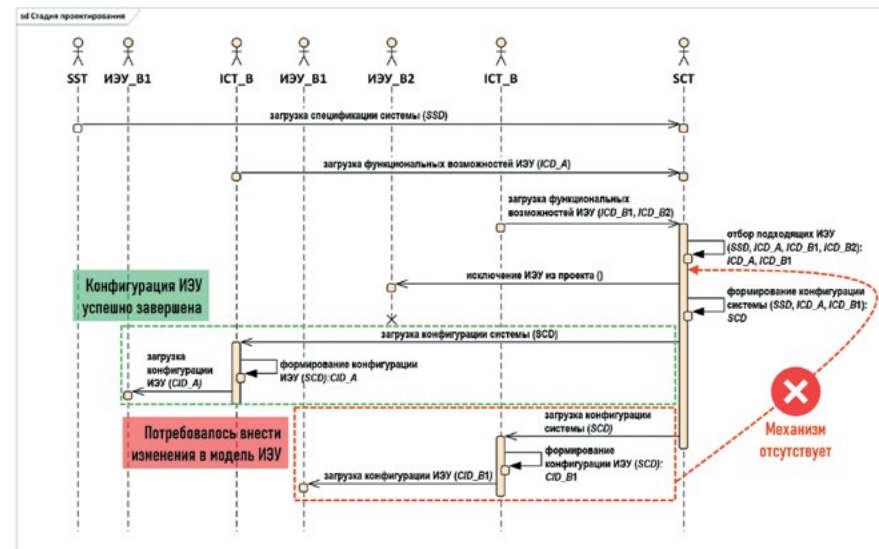
Язык разметки SCL предназначен для обеспечения информационного взаимодействия между инструментами разных производителей, используемыми при разработке проектной документации [6, 8]:

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ SCL-ФАЙЛОВ В РАЗНЫХ РЕДАКЦИЯХ МЭК 61850

Редакция серии МЭК 61850	Тип SCL-файла					
	SSD (System Specification Description)	ICD (IED Capability Description)	SCD (System Configuration Description)	CID (Configured IED Description)	IID (Instantiated IED Description)	SED (System Exchange Description)
1.0	+	+	+	+	-	-
2.0	+	+	+	+	+	+
2.1	+	+	+	+	+	+

ДИНАМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭТК В ЧАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ SCL-ФАЙЛОВ

Рис. 1



- спецификации системы (SST — System Specification Tool);
- конфигураций отдельных интеллектуальных электронных устройств (ICT — IED Configuration Tool);
- конфигурации системы в целом (SCT — System Configuration Tool).

Информационное взаимодействие направлено на решение ряда конкретных задач, в том числе на передачу в системный конфигуратор информации о функциональных возможностях ИЭУ, и передачу в конфигуратор ИЭУ информации об установленных коммуникационных параметрах.

Для решения каждой задачи МЭК 61850 выделяет отдельный тип SCL-файла. Поэтому корректное и исчерпывающее описание любого SCL-файла (в том числе IID-файла) должно быть основано на формулировке задачи, решение которой осуществляется благодаря передаче содержащейся

в этом файле информации между инструментами SST, ICT и SCT.

SCL-файл типа IID впервые был введен в редакции 2 серии стандартов МЭК 61850. Очевидно, что причиной появления задачи, закрепленной впоследствии за IID-файлом, являются выявленные экспертами РГ 10 ТК 57 в ходе разработки редакции 2 недостатки в схеме использования SCL-файлов. Для определения этих недостатков следует обратиться к истории разработки редакции 2 серии стандартов МЭК 61850.

Надо отметить, что рассматривается ситуация, когда SCL-файлы в инструментах SST, ICT и SCT формируются «статически».

Недостатки схемы использования SCL-файлов при проектировании ЭТК ИЭС

Необходимыми исходными данными для разработки конфигурации

системы в целом (SCD-файл) и конфигураций каждого отдельного ИЭУ (CID-файлы) являются SSD-файл и ICD-файлы.

SSD-файл предназначен для представления информации [6, 8]:

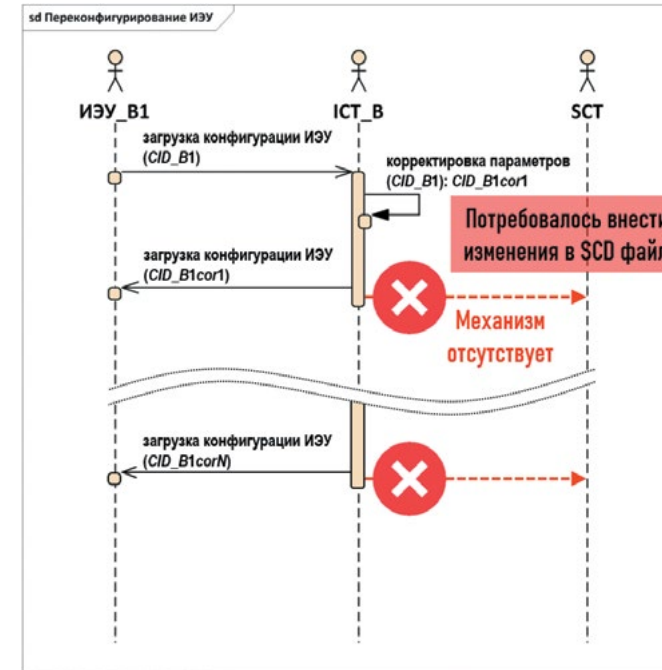
- об электроустановках и их топологии (SCL-элементы Process¹, Line¹, Substation, VoltageLevel и Ва и их атрибуты);
- о единицах первичного силового оборудования (SCL-элементы ConductingEquipment и PowerTransformer и их атрибуты) и вспомогательного несилового оборудования (SCL-элемент GeneralEquipment и его атрибуты);
- взаимных соединениях единиц первичного силового оборудования (SCL-элементы Terminal и ConnectivityNode и их атрибуты);
- о требуемых проектом функциях релейной защиты, автоматики, управления и т.д. (SCL-элементы LNode и их атрибуты).

ICD-файл предназначен для представления информации [6, 8]:

- о возможности ИЭУ выполнять при информационном взаимодействии с другими ИЭУ роль «сервер» и/или «клиент» (SCL-элементы Server и LN и их атрибуты);
- об имеющихся у ИЭУ точках доступа (SCL-элементы AccessPoint и ServerAt и их атрибуты);
- о поддерживаемых ИЭУ абстрактных коммуникационных сервисах [26, 27] и доступных вариантах конфигурирования (SCL-элемент Services и его дочерние элементы);
- о поддерживаемых ИЭУ сервисных моделях (SCL-элементы ConfReportControl, ConfLogControl и другие и их атрибуты);
- о доступных к реализации в ИЭУ функциях релейной защиты, автоматики, управления и т.д. (SCL-элементы LN и их атрибуты).

ДИНАМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЦЕССА ПЕРЕКОНФИГУРИРОВАНИЯ ИЭУ

Рис. 2



Динамические аспекты процесса проектирования ЭТК с точки зрения использования SCL-файлов согласно редакции 1 серии стандартов МЭК 61850 [6] представлены в виде UML-диаграммы взаимодействия на рис. 1 [28].

После исключения неудовлетворяющих требованиям спецификации системы (SSD-файл) ИЭУ (ИЭУ_B2) на основе оставшихся SCL-файлов ICD (ICD_A и ICD_B1) и файла SSD осуществляется разработка SCD-файла. Для формирования CID-файлов (CID_A и CID_B1) разработанный SCD-файл экспортируется SCT в ICT (ICT_A и ICT_B). Если после загрузки CID-файла в ИЭУ работа последнего полностью удовлетворяет требованиям проекта, конфигурирование можно считать успешно завершённым (ИЭУ_A). Однако на стадии формирования CID-файла может возникнуть необходимость корректировки информационной модели ИЭУ и, как след-

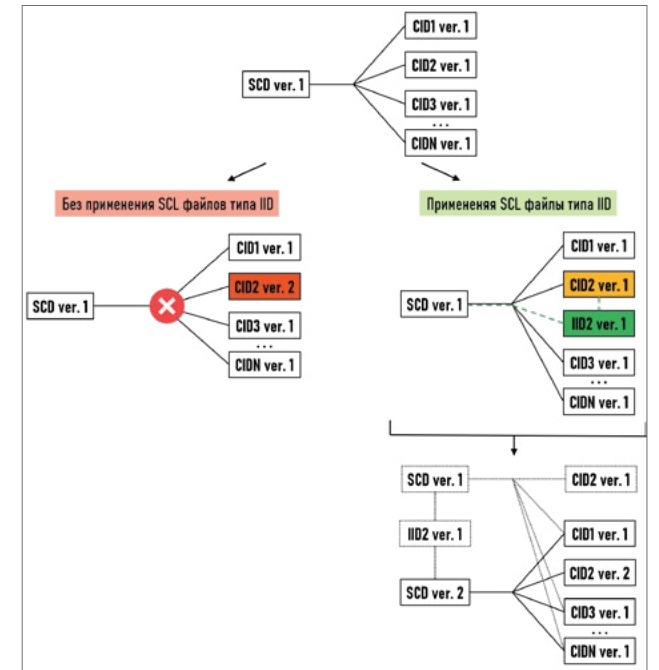
ствие, разработки SCD-файла новой версии.

Факт внесения изменений в SCD-файл может быть задокументирован с помощью SCL-элемента Hitem и его атрибутов. Но для документирования самих изменений конфигурации ИЭУ и их автоматизированной передачи в SCT требуется отдельный тип SCL-файлов.

Среди динамических аспектов процесса проектирования (см. рис. 1) отсутствует механизм, который позволил бы обновить SCD-файл в части параметров одного отдельного ИЭУ (ИЭУ_B1), гарантируя при этом сохранение параметров уже успешно сконфигурированных ИЭУ (ИЭУ_A). Отсутствует также SCL-файл для автоматизации этого обновления. Поэтому потребность внести изменения в модель одного отдельного ИЭУ приводит к необходимости начинать весь процесс конфигурирования заново.

АДМИНИСТРИРОВАНИЕ SCL-ФАЙЛОВ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Рис. 3



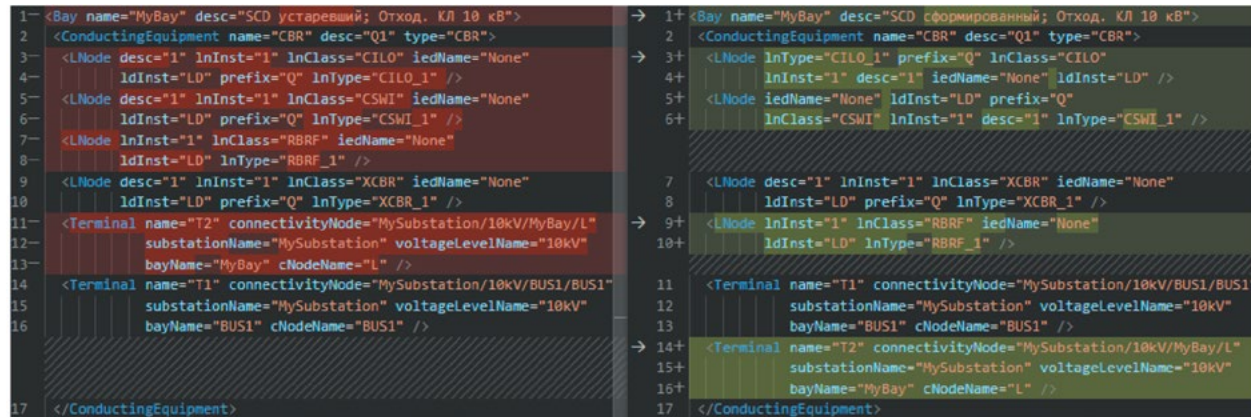
Однако на практике в данной ситуации, вероятнее всего, будет выполнено переконфигурирование ИЭУ без внесения изменений в SCD-файл, как это показано на рис. 2. С помощью ICT (ICT_B) экспортируется CID-файл (CID_B1). После внесения изменений обновленный CID-файл (CID_B1cor1) загружается обратно в ИЭУ (ИЭУ_B1). При этом механизм и SCL-файл для автоматизированного обновления SCD-файла отсутствуют аналогично ситуации, представленной на рис. 1.

Чем больше случаев внесения изменений в конфигурации ИЭУ по схеме на рис. 2 (CID_B1corN), тем в большей степени нарушается согласованность между файлами SCD и CID. SCD-файл становится неактуальным. Отсутствие актуального SCD-файла приводит к невозможности в случае возникновения аварийных ситуаций быстро «откатиться» к требуемой, предшествующей аварийной ситуации конфигурации системы.

¹SCL-элемент появился в редакции 2.1 стандарта МЭК 61850-6.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ СРАВНЕНИЕ ЧАСТЕЙ ДВУХ SCD-ФАЙЛОВ, РАЗЛИЧАЮЩИХСЯ ЗНАЧЕНИЕМ SCL-АТТРИБУТА desc ЭЛЕМЕНТА BAY

Рис. 4



Для документирования изменений конфигураций ИЭУ и их автоматизированной передачи в SCL с целью обновления SCD-файла РГ 10 ТК 57 в редакции 2 серии стандартов МЭК 61850 предложен SCL-файл типа IID.

Применение IID-файла повышает качество администрирования SCL-файлов электронной проектной документации.

Рассмотрим пример, представленный на рис. 3. Предположим, что в базе данных хранятся SCL-файлы, описывающие конфигурацию системы (SCD ver. 1) и соответствующие ей конфигурации каждого отдельного ИЭУ (CID1 ver. 1, CID2 ver. 1, CID3 ver. 1, ... CIDN ver. 1). В таком случае SCL-файлы SCD ver. 1, CID1 ver. 1, CID2 ver. 1, CID3 ver. 1, ... CIDN ver. 1 являются согласованными.

Внесенные без применения IID-файла изменения в CID2 ver. 1 (левая часть рис. 3) не учитываются в SCD ver. 1. SCD ver. 1 больше не согласуется с совокупностью актуальных CID-файлов CID1 ver. 1, CID2 ver. 2, CID3 ver. 1, ... CIDN ver. 1.

² В данном контексте под одноклассовыми SCL-элементами понимаются SCL-элементы в SCD-файле, являющиеся экземплярами одного класса информационной модели языка разметки SCL. В примере на рис. 4 это четыре SCL-элемента LNode и два SCL-элемента Terminal.

Применение IID-файла (правая часть рис. 3) позволяет задокументировать изменения в файле CID2 ver. 1 и обновить SCD ver. 1, обеспечивая при этом:

- согласование обновленного SCD-файла SCD ver. 2 с совокупностью актуальных CID-файлов CID1 ver. 1, CID2 ver. 2, CID3 ver. 1, ... CIDN ver. 1;
- согласование устаревшего SCD-файла SCD ver. 1 с совокупностью CID-файлов CID1 ver. 1, CID2 ver. 1, CID3 ver. 1, ... CIDN ver. 1;
- ведение подробной истории изменений SCD-файла.

Выявление выполненных ранее без применения IID-файлов изменений в конфигурациях ИЭУ путем сравнения имеющегося устаревшего SCD-файла с SCD-файлом, сформированным на основе имеющихся актуальных CID-файлов ИЭУ, крайне проблематично. Даже если автоматизированные инструменты для такого «воссоздания» SCD-файла существуют, то нет никакой гарантии, что последовательность одноклассовых SCL-элементов² и их атрибутов в сформированном SCD-файле будет идентична последовательности

в устаревшем SCD-файле. Примером данной ситуации может быть сравнение двух SCD-файлов (рис. 4).

С точки зрения хранимой информации данные файлы различаются лишь значением SCL-атрибута desc элемента Bay: в одном файле он имеет значение «SCD устаревший; Отход. КЛ 10 кВ» (левая часть рис. 4), в другом — «SCD сформированный; Отход. КЛ 10 кВ» (правая часть рис. 4). В остальных частях SCD-файлов эквиваленты, но из-за разной последовательности SCL-элементов и атрибутов программное обеспечение воспринимает сравниваемые SCD-файлы как различающиеся.

Поэтому, даже если удалось выполнить «воссоздание» SCD-файла из совокупности CID-файлов, для сравнения SCD-файлов потребуются глубокие знания языка разметки SCL.

■ Заключение

Главной причиной появления SCL-файла типа IID в редакции 2 серии стандартов МЭК 61580 явилось отсутствие механизма автоматизированного обновления SCD-файла

при внесении изменений в конфигурации ИЭУ (в CID-файлы) в процессе проектирования ЭТК ИЭС.

Цель использования IID-файла — документирование изменений конфигураций ИЭУ и передача информации о них в системный конфигуратор для актуализации SCD-файла и формирования новой версии CID-файла.

Использование IID-файла согласно положениям серии стандартов МЭК 61850 может существенно повысить качество администрирования файлов электронной проектной документации SCD и CID.

Внесение изменений в конфигурации ИЭУ без использования IID-файла делает SCD-файл бесполезным из-за потери собственной актуальности. Неактуальность SCD-файла может привести к значительным незапланированным затратам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Распоряжение Правительства РФ от 30.09.2018 № 2101-р «Об утверждении Комплексного плана модернизации магистральной инфраструктуры на период до 2024 года».
2. Грабчак Е.П., Медведева Е.А., Васильева И.Г. Как сделать цифровизацию успешной//Энергетическая политика. 2018. № 5. С. 25–29.
3. Чичёв С.И., Калинин В.Ф., Глинкин Е.И. Методология проектирования цифровой подстанции в формате новых технологий: учебное пособие. М: Издательский дом «Спектр», 2014.
4. Sosnina E., Bedretdinov R., Ivanov A. Technical and Information Questions of Active-Adaptive Network Design//2022 4th International Conference on Electrical, Control and Instrumentation Engineering (ICECIE). Kuala Lumpur, Malaysia, 2022. Article number 22482727.
5. Иванов А.В., Чайкин В.С., Соснина Е.Н. Архитектурная модель интеллектуальной энергетической системы как инструмент системной инженерии// Энергия единой сети. 2022. № 5–6 (66–67). С. 16–24.
6. IEC 61850–6:2009/AMD1:2018 (ed. 2.1) Communication networks and systems for power utility automation — Part 6: Configuration description language for communication in

power utility automation systems related to IEDs [Электронный ресурс]. URL: <https://webstore.iec.ch/publication/32095> (дата обращения: 30.08.2023).

7. IEC 61850–6:2004 (ed. 1.0) Communication networks and systems in substations — Part 6: Configuration description language for communication in electrical substations related to IEDs [Электронный ресурс]. URL: <https://webstore.iec.ch/publication/20076> (дата обращения: 30.08.2023).
8. IEC 61850–6:2009 (ed. 2.0) Communication networks and systems for power utility automation — Part 6: Configuration description language for communication in electrical substations related to IEDs [Электронный ресурс]. URL: <https://webstore.iec.ch/publication/6013> (дата обращения: 30.08.2023).
9. Jang B.T., Alidu A., Kim N.D. Design of an Algorithm for the Validation of SCL in Digital Substations//KEPCO Journal on Electric Power and Energy. 2017. Vol. 3. P. 89–97.
10. Jang B.T., Alidu A., Kim N.D. IEC 61850 SCL Validation Using UML Model in Modern Digital Substation//Smart Grid and Renewable Energy. 2018. Vol. 9. P. 127–149.
11. West A. Integrating IEC 61850 & IEEE 1815 (DNP3) [Электронный ресурс]. URL: https://na.eventscloud.com/file_uploads/59eacabb047b69e4382eaf42ab700fb7_West_-_Integrating_IEC_61850_and_DNP31.pdf (дата обращения: 30.08.2023).
12. Ковцова И.О. Обработка и передача учетных данных для классических и цифровых электроподстанций: монография. М.: «Прометей», 2016.
13. Валеев И.М., Макаров В.Г. Концепция управления цифровыми подстанциями будущего: учебное пособие. Минобрнауки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. Казань: Изд-во КНИТУ, 2019.
14. Тарасенко В.В. Эксплуатация интеллектуальных электроэнергетических систем: учебное пособие. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2018.
15. Чижма С.Н., Захаров А.И. Цифровые подстанции: учебное пособие. Калининград: Издательство БФУ им. И. Канта, 2022.
16. Лебедев А.А., Благоразумов Д.О. Возможности применения облачных технологий для автоматизации функциональных испытаний систем РЗА ЦПС// Релейщик. 2022. № 1. С. 40–43.
17. Егоров Е.П., Кошельков И.А., Хе М.А., Тойдеряков Н.А. Опыт наладки и эксплуатации МП устройств РЗА на ЦПС//Релейщик. 2022. № 2. С. 20–25.
18. Мясоедов Ю.В., Саяпин О.Ю. Описание спецификации цифровой подстанции, формирование SSD-файла//Сборник трудов X Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов». Благовещенск: Амурский государственный университет, 2022. С. 23–30.
19. Мараракина Н.В. SCD мультивендорной подстанции//Электроэнергетика глазами молодежи: материалы XII Международной научно-технической конференции. Н. Новгород: Нижегород. гос. тех. ун-т им. Р.Е. Алексеева, 2022. С. 16–19.
20. Волошин А.А., Волошин Е.А., Бусыгин Т.Г. Применение баз знаний для автоматического синтеза оптимальной функциональной структуры РЗА цифровых подстанций//Релейщик. 2018. № 1. С. 12–16.
21. Прокопьев В.В., Крылов Д.А. Проектирование ЦПС с применением технологий стандарта МЭК 61850//Релейная защита и автоматизация. 2012. № 2. С. 48–55.
22. Сидоров В.А., Алиусманов Г.Э., Антонов Р.Б., Климчук И.В., Медведев М.С. Анализ существующих инструментов конфигурации и верификации файлов SCL ЦПС//Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. 2023. Т. 8 № 6 (32). С. 152–156.
23. Громов И.В., Егоров Е.П., Тойдеряков Н.А., Капустина О.А. Роль SCL-файлов при наладке ЦПС. Практика//Сборник докладов V международной научно-практической конференции «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем России». Чебоксары: ЧГУ, 2019. С. 24–26.
24. Громов И.В., Егоров Е.П., Кошельков И.А. Опыт использования файлов языка SCL на различных этапах создания цифровой подстанции//Сборник материалов XII Междунар. науч.-техн. конф. «Кибернетика энергетических систем». Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2020. С. 265–268.
25. СТО 56947007–25.040.30.309–2020 «Корпоративный профиль МЭК 61850. Стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС».
26. IEC 61850–7-2:2010 (ed. 2.0) Communication networks and systems for power utility automation — Part 7–2: Basic information and communication structure — Abstract communication service interface (ACSI) [Электронный ресурс]. URL: <https://webstore.iec.ch/publication/6015> (дата обращения: 30.08.2023).
27. IEC 61850–7-2:2010/AMD1:2020 (ed. 2.1) Communication networks and systems for power utility automation — Part 7–2: Basic information and communication structure — Abstract communication service interface (ACSI) [Электронный ресурс]. URL: <https://webstore.iec.ch/publication/33197> (дата обращения: 30.08.2023).
28. Буч Г., Рамбо Д., Якобсон И. Язык UML. Руководство пользователя. М.: ДМК Пресс, 2006.