

Цифровизация жизненного цикла устройств и комплексов РЗА

А.С. Шеметов, начальник управления развития РЗА и метрологии департамента РЗ метрологии АСУ ТП ПАО «Россети»

О.В. Кириенко, директор по перспективным проектам ООО «ИЦ «ЭПА»

П.В. Кабанов, руководитель департамента инновационных разработок ООО «ИЦ «ЭПА»

Д.Л. Доминевский, руководитель отдела РЗ и ПА ООО «ИЦ «ЭПА»

А.А. Горчаков, руководитель научно-методического отдела ООО «ИЦ «ЭПА»

Р.В. Вяткин, заместитель руководителя департамента разработки, внедрения и сопровождения трёхмерного ПО CSoft Development

Д.В. Алексеев, руководитель группы разработки ПО CSoft Development

Ю.Л. Смирнов, начальник отдела программных средств ООО «НПП «Динамика»»

А.С. Шалимов, к.т.н., начальник отдела РЗА ООО «НПП «Динамика»»

В соответствии с тезисами, изложенными в Концепции развития релейной защиты, автоматики и автоматизированных систем управления технологическими процессами электросетевого комплекса Группы «Россети» 2022 г. (далее — Концепции), основные цели компании достигаются с помощью программных комплексов для автоматизации жизненного цикла РЗА и типовых решений в части РЗА (типовых шкафов РЗА). Разработанные ПАО «Россети» типовые шкафы РЗА и АСУТП позволили систематизировать обмен данными и разработать программные комплексы сопровождения жизненного цикла РЗА и АСУТП, среди которых основными являются ПТК «Эксплуатация» (далее ПТКЭ), САПР ЭК РЗА (далее САПР) и ПТК «Приёмка» (далее Приёмка). Их использование даёт возможность автоматизировать весь жизненный цикл РЗА от предпроектного обследования до ввода подстанции в работу.

Совместная работа перечисленных программных комплексов была продемонстрирована на Международной научно-технической конференции «Развитие и повышение надёжности распределительных электрических сетей», организованной ПАО «Россети» и журналом «ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение» при поддержке Министерства энергетики РФ, в рамках сессии «Релейная защита и автоматика электрических сетей». Демонстрация производилась в формате мастер-класса с детальным показом всех этапов работы в интерфейсе программных комплексов. Основной упор во время показа был сделан на обмен информацией в виде машиночитаемого формата XML, применение которого исключает участие че-

ловека для ввода информации и, как следствие, минимизирует количество ошибок на всех этапах жизненного цикла РЗА.

Представленный инновационный подход соответствует концепции «Цифровая трансформация 2030», предполагающей создание единого цифрового информационного поля с последующим отказом не только от бумажных носителей, но и от форматов файлов, не позволяющих осуществлять автоматический ввод/вывод и анализ информации. Речь идёт о таких форматах как PDF, DOC и подобных, которые могут применяться только в качестве дополнительного источника информации в человекочитаемом виде.

Основой единого цифрового информационного поля стали

форматы, определённые международными и отечественными стандартами:

- МЭК 61850 (SCL), ГОСТ Р МЭК 61850-6-2009 «Сети и системы связи на подстанциях. Часть 6. Язык описания конфигурации для связи между интеллектуальными электронными устройствами на электрических подстанциях»;
- МЭК 61970, 61968 (CIM), серия ГОСТ Р 58651 «Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Информационная модель электроэнергетики».

Жизненный цикл устройств и комплексов РЗА и АСУ ТП

Жизненный цикл изделия (ГОСТ Р 56136-2014) — совокупность явлений и процессов, повторяющаяся с пери-

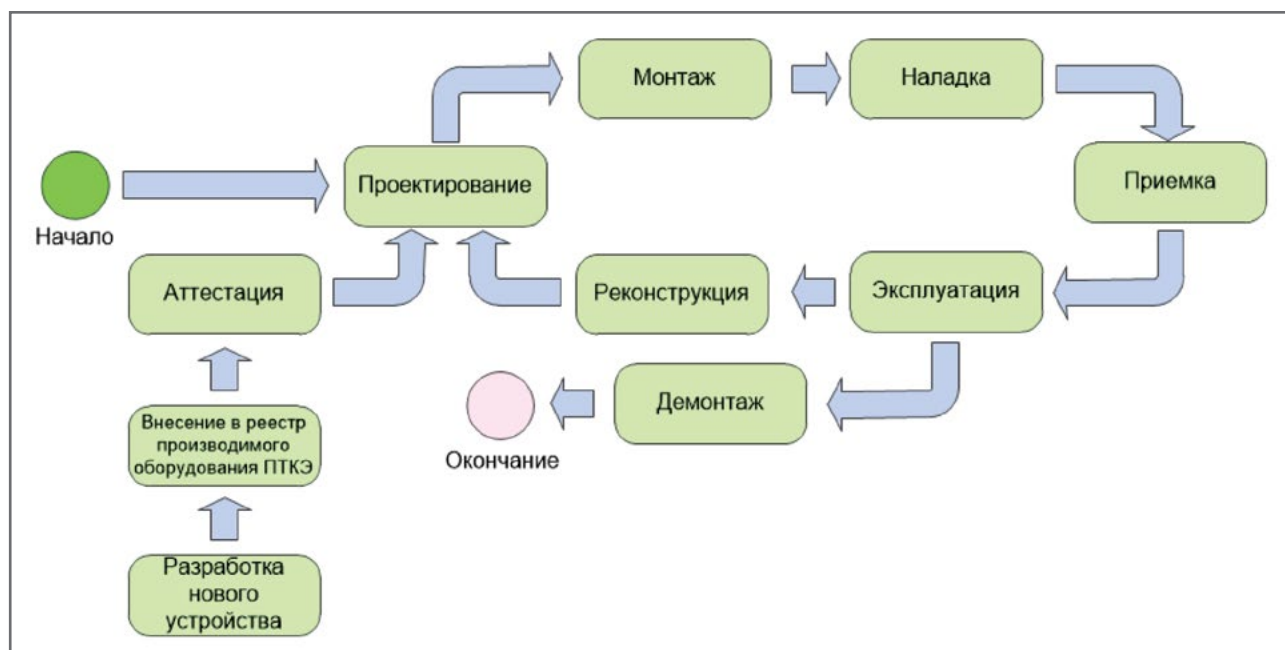


Рис. 1. Жизненный цикл устройств и комплексов РЗА и АСУ ТП

одичностью, определяемой временем существования типовой конструкции изделия от её замысла до утилизации или конкретного экземпляра изделия от момента завершения его производства до утилизации.

С точки зрения РЗА жизненный цикл устройства включает в себя следующие этапы (рис. 1):

- ❑ аттестация (контроль качества);
- ❑ проектирование;
- ❑ монтаж;
- ❑ наладка;
- ❑ приёмка;
- ❑ эксплуатация;
- ❑ демонтаж/реконструкция.

Для проведения мастер-класса был развёрнут сервер ПТК «Эксплуатация», на котором создали детализированную схему тестового энергорайона,

которая включала в себя: 6 подстанций, 7 линий электропередачи (с детализацией до опоры), 1 622 шкафа и ячейки КРУ с устройствами РЗА, 3138 устройств РЗА. В результате мероприятия должна была быть спроектирована новая подстанция со схемой ИТС, подключённая к тестовому энергорайону двумя линиями электропередачи, смоделирован монтаж и наладка оборудования РЗА с фиксацией всех этапов в электронном виде, а также приёмка из наладки и передача объекта в промышленную эксплуатацию.

Стадия предпроектного обследования

Первый этап — предпроектное обследование (ППО) — проводится на основе данных, полученных из ПТКЭ, в котором созданы цифровые двойники всех объектов энергорайона.

Информация просто выгружается из ПТКЭ в формате XML с последующей её передачей в САПР. Благодаря этому, время на предпроектное обследование существенно сокращается.

Для ведения проекта в подсистеме капитального строительства ПТКЭ вводятся объекты — титулы. Пользователь создаёт титул под объект капитального строительства и в дальнейшем всё взаимодействие с проектировщиком происходит из карточки титула проекта (рис. 2).

Используемый формат XML построен по правилам CIM Messages, которые позволяют перейти от моделей графа сети в формате RDF к более компактной иерархической структуре, описанной с использованием XSD схемы документа и SAWSDL атрибутов. Сформировать такую XSD схему можно с использованием программных продуктов с открытым исходным кодом, таких как CIMTool, на базе профиля информационной модели в формате OWL. Исходный профиль в формате OWL был выполнен согласно ГОСТ Р 58651 с небольшими дополнениями, позволяющими детализировать выгружаемую информацию. Схема XSD используется для проверки корректности передаваемых файлов. Файлы обмена между САПР и ПТКЭ унифицированы как для выгрузки из ПТКЭ, так и для загрузки в ПТКЭ на всех этапах проектирования.

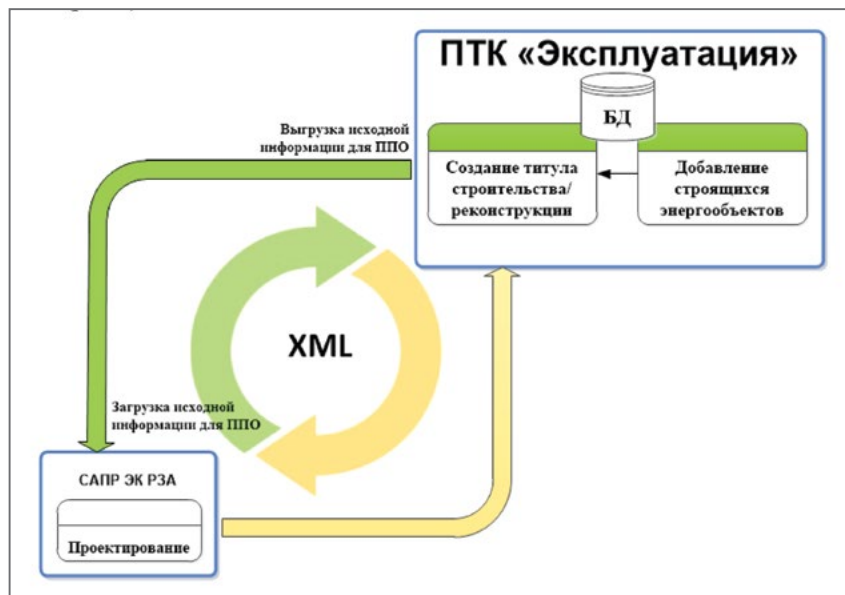


Рис. 2. Взаимодействие ПТКЭ и САПР ЭК РЗА на стадии ППО

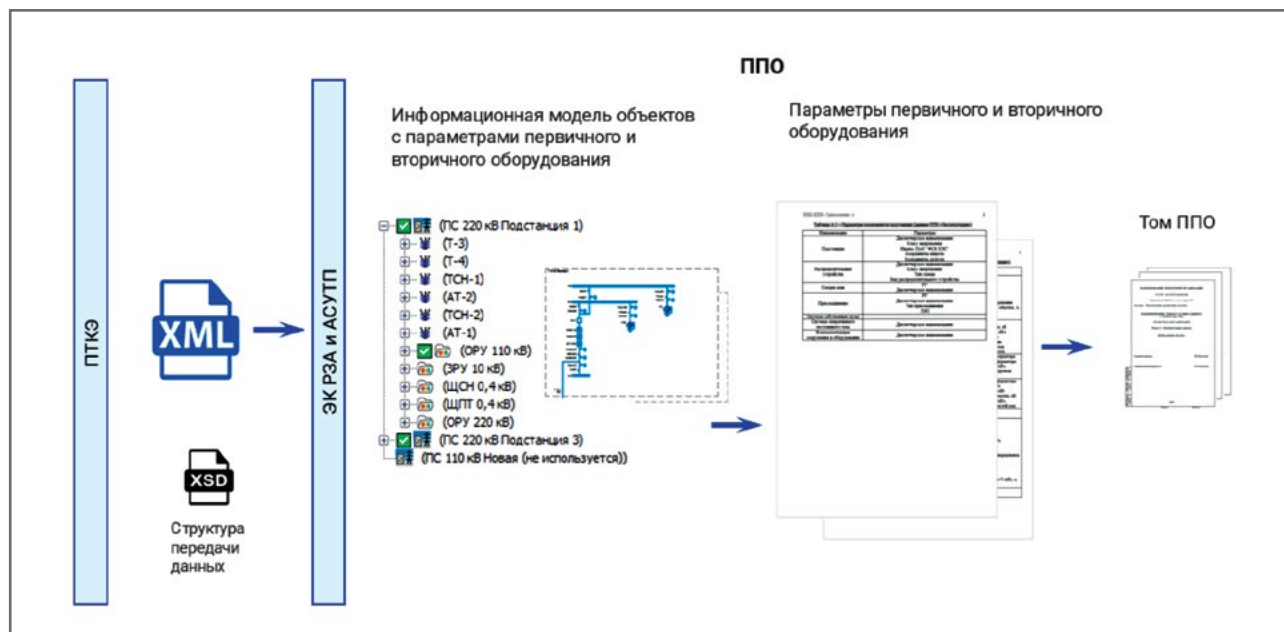


Рис. 3. Формирование исходных данных для проектирования

САПР ЭК РЗА и АСУТП предназначен для комплексного информационно-инструментального сопровождения процессов разработки проектной документации стадии П в части вторичных систем ПС.

Автоматизация томов ПД происходит на основании разрабатываемых пользователем цифровых моделей:

- ❑ ЦИМ СЭП;
- ❑ ЦИМ схемы ИТС + SSD-файл;
- ❑ ICD/RSD файлы устройств/шкафов ИТС;
- ❑ ЦИМ структурной схемы СОПТ;
- ❑ ЦИМ ЛВС АСУТП;
- ❑ ЦИМ структурной схемы ПА энергорайона.

При возможности работать изолированно и выгружать тома ПД в БД проекта, САПР, как описано выше, имеет воз-

можность взаимодействия с ПТКЭ.

На этом этапе с помощью XML загружаются исходные данные. Последовательность работы проиллюстрирована на рис. 3.

Из XML-файла формируется цифровая модель для САПР, состоящая из структуры объекта (титула) ПТКЭ и параметров объектов первичного и вторичного оборудования. Эта информация является исходными данными для проектирования нового объекта. В этот момент доступно формирование отчёта ППО в табличном виде (Электронная бумага).

I. Стадия общих технических решений

I.I. Работа в САПР

На основании полученных данных пользователь САПР

создаёт цифровую модель в объёме однолинейной схемы ПС (СЭП — SLD). Все объекты однолинейной схемы стандартизованы, содержатся в общей для всех пользователей интернет-библиотеке (далее — Интернет БД), каждая единица оборудования соответствует СТО 56947007–25.040.30.309–2020 «Корпоративный профиль МЭК 61850».

Каждый объект, содержащийся в Интернет БД, является параметрическим объектом с набором соответствующих параметров, имеет графическое отображение согласно СТО 56947007–29.240.10.249–2017 «Правила оформления принципиальных электрических схем подстанций» и дополнительные данные для работы в САПР.

При вынесении объектов схемы из Интернет БД они встра-

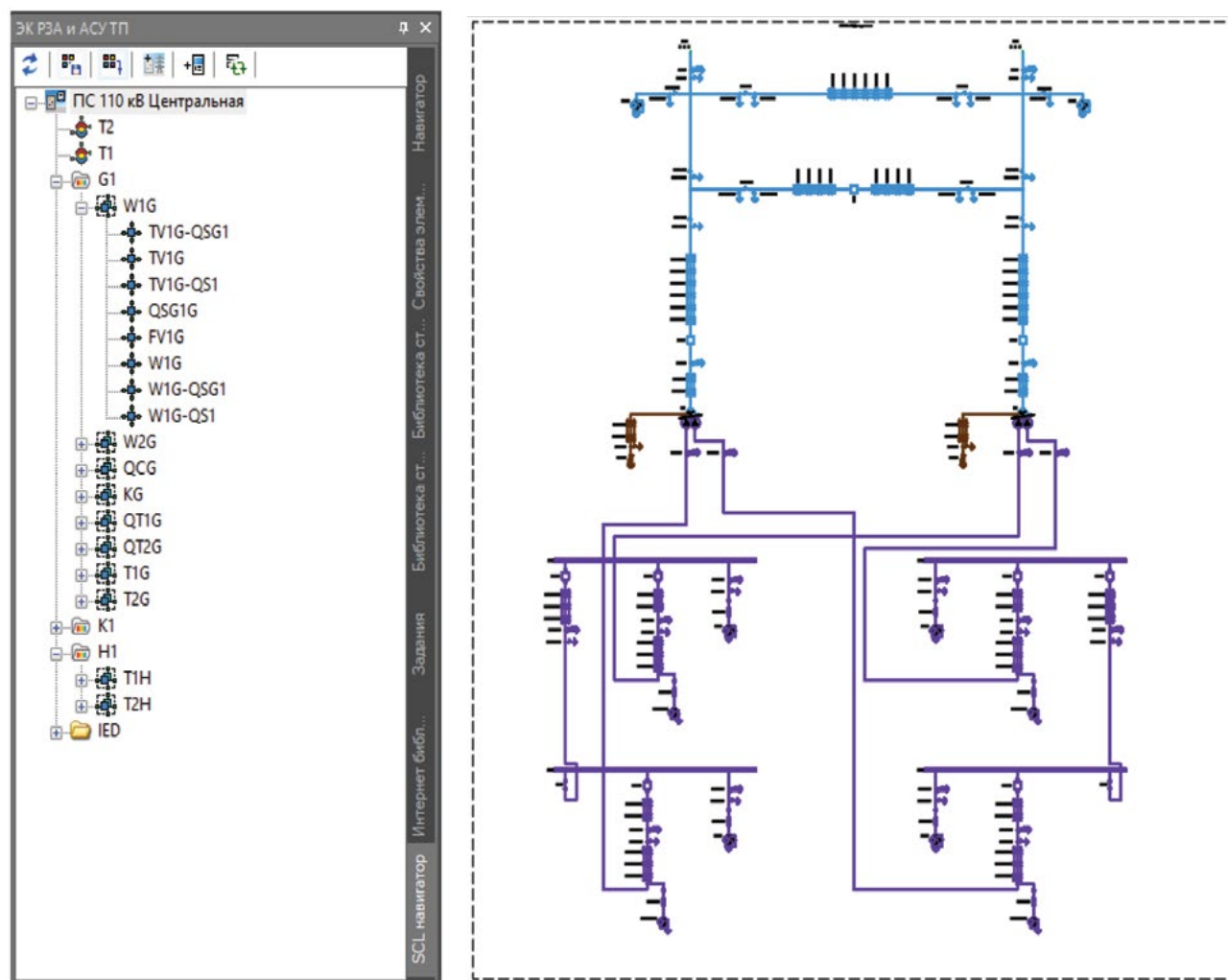


Рис. 4. Структура модели и схема в интерфейсе ЭК РЗА и АСУТП

иваются в цифровую информационную модель. Формируется структура подстанции согласно МЭК 61850 [SCL], ГОСТ Р МЭК 61850-6-2009, содержащая следующие элементы (см. рис. 4):

- подстанция;
- уровень напряжения (РУ);
- присоединение;
- единица первичного оборудования.

В этой же модели аналогично формируются реконструируемые подстанции, которые со-

единяются со строящейся подстанцией новыми ЛЭП.

Полученный ранее файл подгружается в навигатор объектов ПТКЭ. Производится связка объектов модели с объектами ПТКЭ. Связанные объекты в навигаторе ПТКЭ отмечаются зелёным маркером, соответствующие им объекты цифровой модели в САПР, приобретают значение параметра «Статус» (отношение к данному титулу) — «Существующий».

По умолчанию все объекты структуры и схемы в САПР имеют «Статус» — «Проектируемое», то есть вновь устанавливаемое (новое) оборудование. Оборудование, отмеченное статусом «Существующее», не записывается повторно, оно уже привязано и имеет идентификатор БД ПТКЭ. В дальнейшем при ведении нескольких проектных работ каждому объекту может быть присвоено несколько статусов, относящих его к разным титулам. По завершении проектирования ин-

формационная модель этапа ОТР сохраняется в XML-файл и отправляется в ПТКЭ.

I.II Работа в ПТКЭ

Схема взаимодействия ПТКЭ и САПР ЭК РЗА на стадии ОТР представлена на рис. 5.

При загрузке XML-файла ПТКЭ отслеживает соответствие загружаемой информации и исходной выгрузки по уникальным идентификаторам и полностью автоматизирует работу персонала службы РЗА по анализу загружаемой информации, выделяя объекты, которые были добавлены/изменены/удалены (рис. 6). Это позволяет быстро рассмотреть проект и либо принять данные, либо выдать замечания проектировщику.

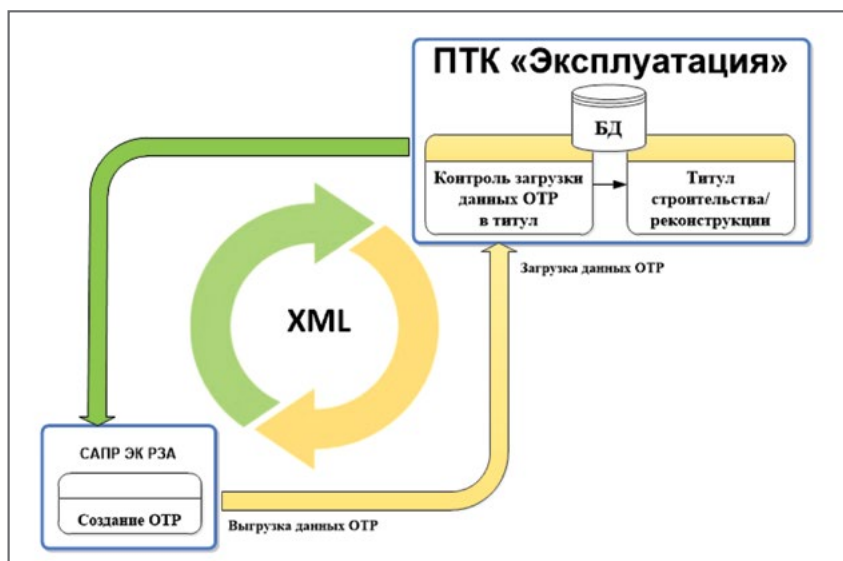


Рис. 5. Взаимодействие ПТКЭ и САПР ЭК РЗА на стадии ОТР

ПТКЭ отслеживает соответствие загружаемой информации и исходной выгрузки по уникальным идентификаторам и полностью автоматизирует работу персонала службы РЗА по анализу загружаемой информации

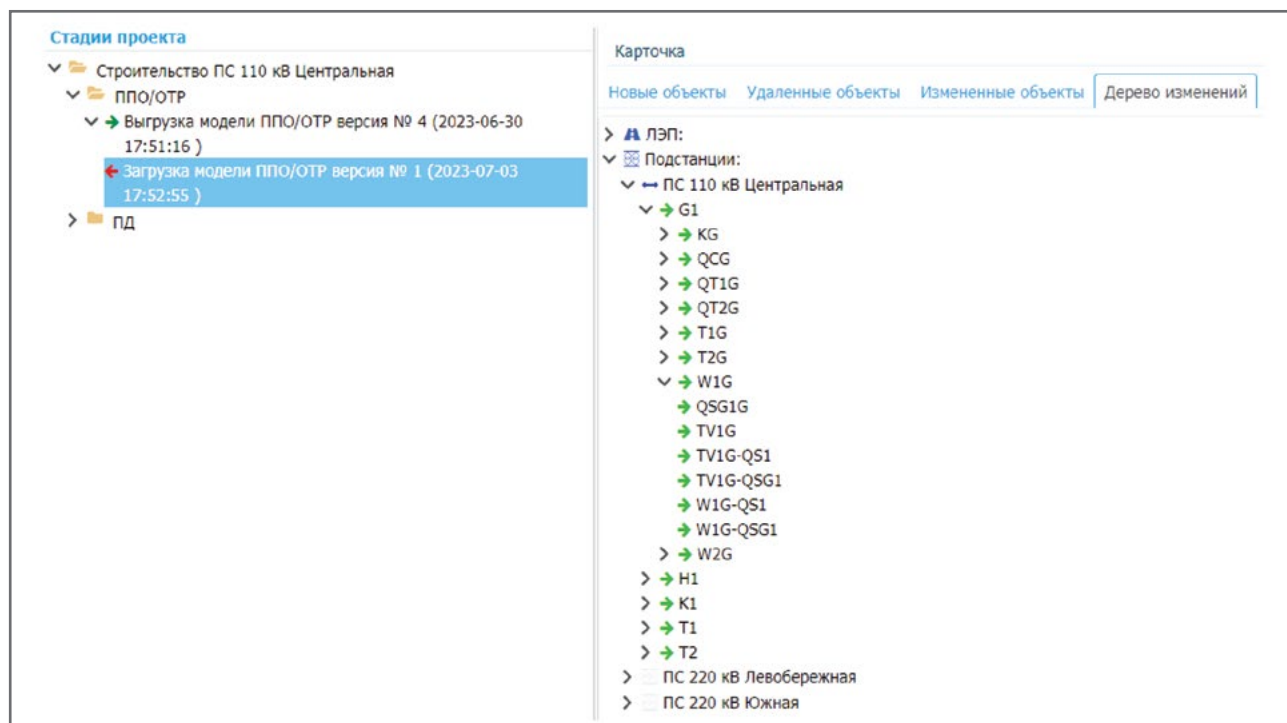


Рис. 6. Результат загрузки XML-файла в ПТКЭ

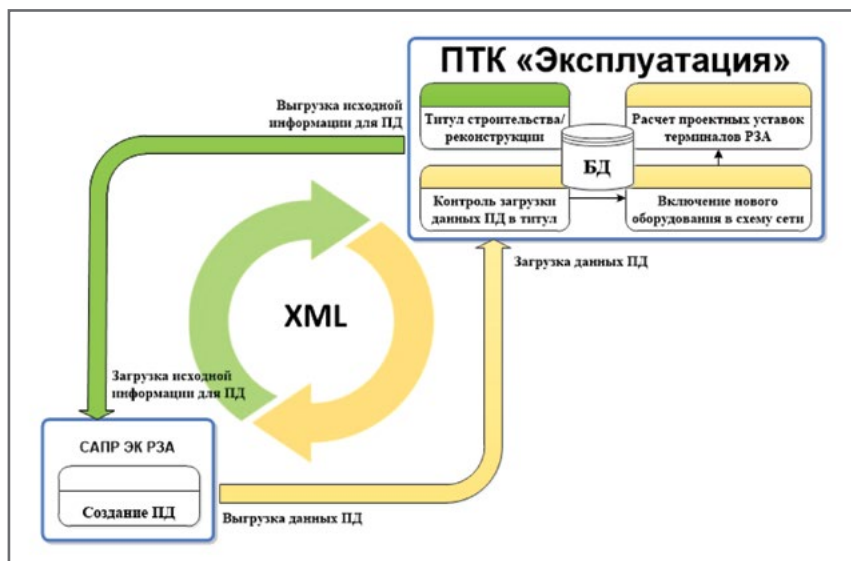


Рис. 7. Взаимодействие ПТКЭ и САПР ЭК РЗА на стадии ПД

II. Стадия проектной документации

Стадия проектной документации (ПД) инициируется в ПТКЭ путём выгрузки исходной информации в том же формате XML. Выгружаемые данные

содержат все технические решения, принятые на предыдущем этапе.

Полученный от ПТКЭ файл открывается в навигаторе ПТКЭ в САПР. Формируется схема

ИТС подстанций. Цифровая модель дополняется шкафами. В Интернет БД САПР содержатся типовые шкафы. В САПР шкафы могут создаваться из Интернет БД, либо на основании ICD/RSD файлов, либо пользователь самостоятельно создаёт или редактирует структуру шкафа по МЭК 61850 (рис. 8). Производится подключение функций ИТС устройств, находящихся в шкафах.

Дополненная информационная модель этапа ПД сохраняется в XML-файл и отправляется в ПТКЭ, где происходит её загрузка. Среди загружаемых данных присутствуют типовые шкафы РЗА с интеллектуальными устройствами, а также привязками устройств к защищаемому оборудованию, к выключателям, на которые

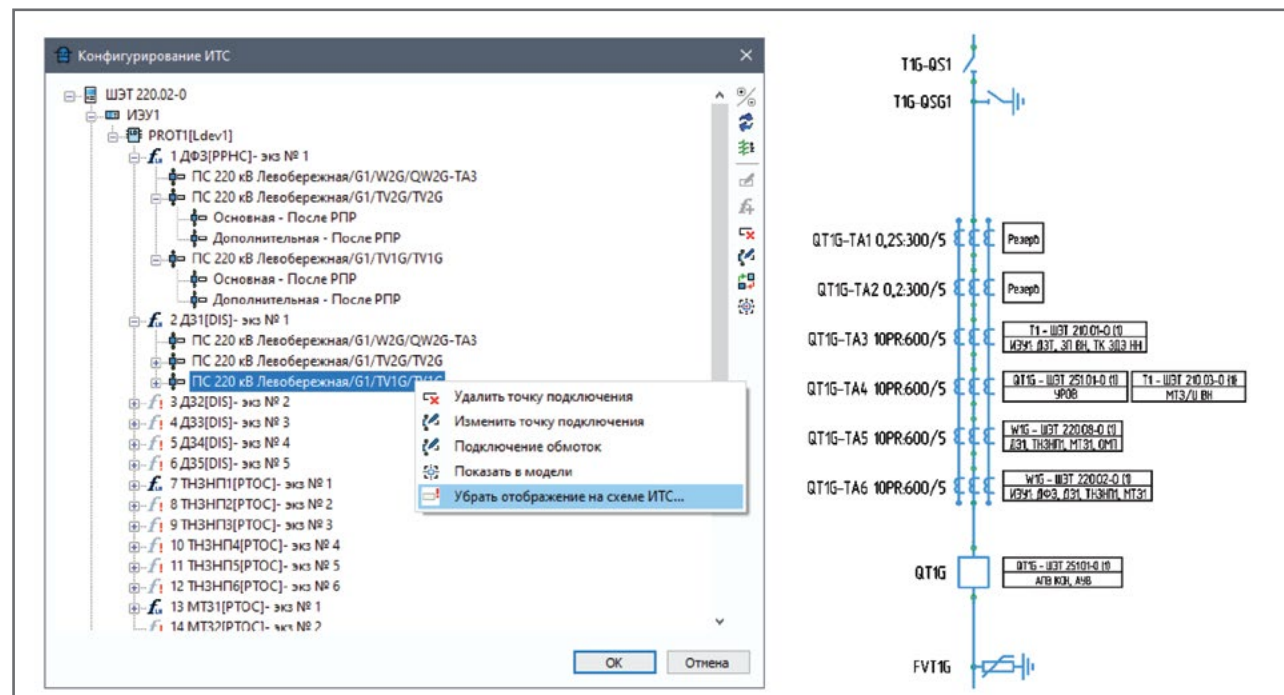


Рис. 8. Дополнение модели шкафами

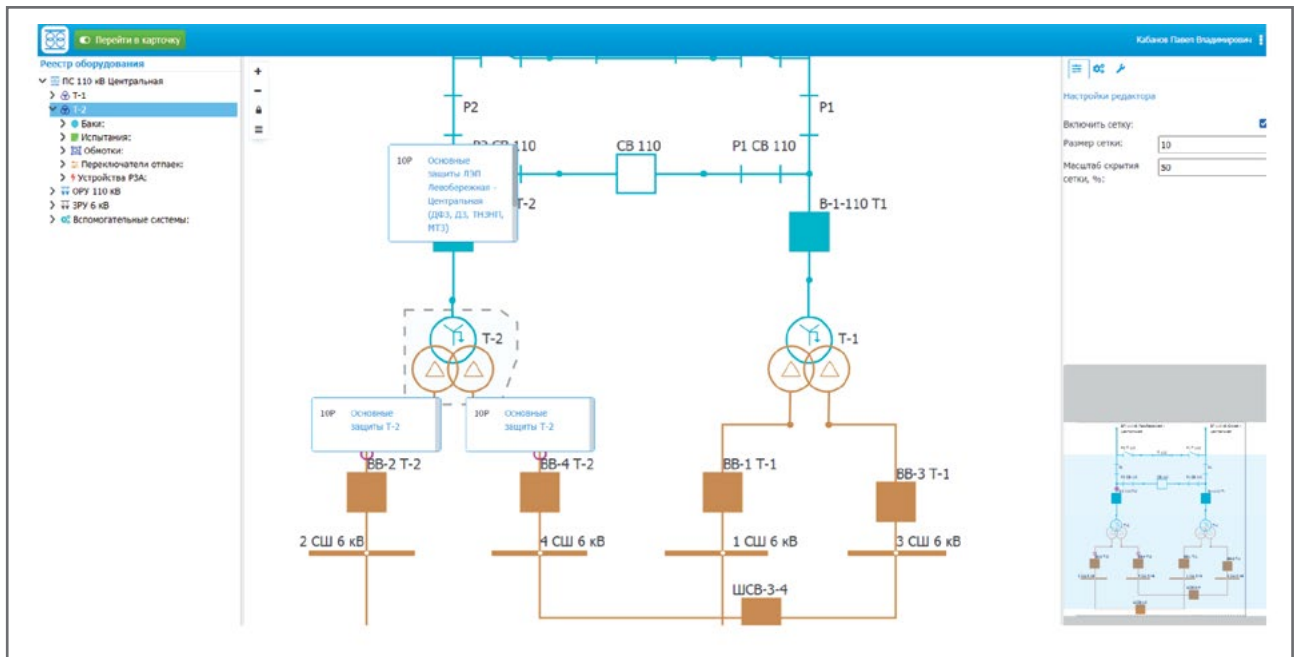


Рис. 9. Схема ИТС проектируемой подстанции в ПТКЭ

действует защита, и подключения к обмоткам ТТ и ТН.

II.1 Включение проектируемого оборудования в схему сети

По загруженной из САПР информации в ПТКЭ формируется схема ИТС проектируемой подстанции (рис. 9).

Новая подстанция встраивается в существующую схему сети, с использованием редактора сети в ПТКЭ (рис. 10). Редактор позволяет выполнять расчёт ТКЗ в фазных координатах в различных точках сети и моделировать необходимые подрежимы для расчёта обязательных уставок функций РЗА.

II.II Расчёт обязательных уставок функций РЗА

Расчёт обязательных уставок выполняется с использовани-

ем интерактивного пошагового мастера, который использует имеющуюся информацию, и задаёт вопросы для получения от пользователя недостающей для расчёта информации. Он самостоятельно формирует перечень необходимых для расчёта уставок подрежимов, считает ТКЗ для каждого из подрежимов, и выполняет расчёт уставок.

III. Стадия монтажа оборудования

Шафы РЗА, которые проходят согласование персонала службы РЗА, на стадии ПД включаются в график монтажа/наладки/ввода в работу, который ведётся в ПТКЭ [рис. 11].

График позволяет вводить плановые и фактические даты для всех мероприятий, кото-

рые необходимо совершить для ввода шкафов РЗА в эксплуатацию.

IV. Стадия аттестации типовых шкафов

ПТК «Приёмка» состоит из аппаратной части — компьютерно-управляемых испытательных систем, распространённых в ПАО «Россети» типа РЕТОМ-51/61/71/61850, и графической оболочки, включающей программы управления приборами и взаимодействия с ПТКЭ (рис. 12) и другими комплексами.

Особенность «ПТК Приёмка» заключается в автоматизации испытаний с помощью типовых сценариев проверок, которые быстро создаются визуальным программным инструментом, не требующим навыков программирования.

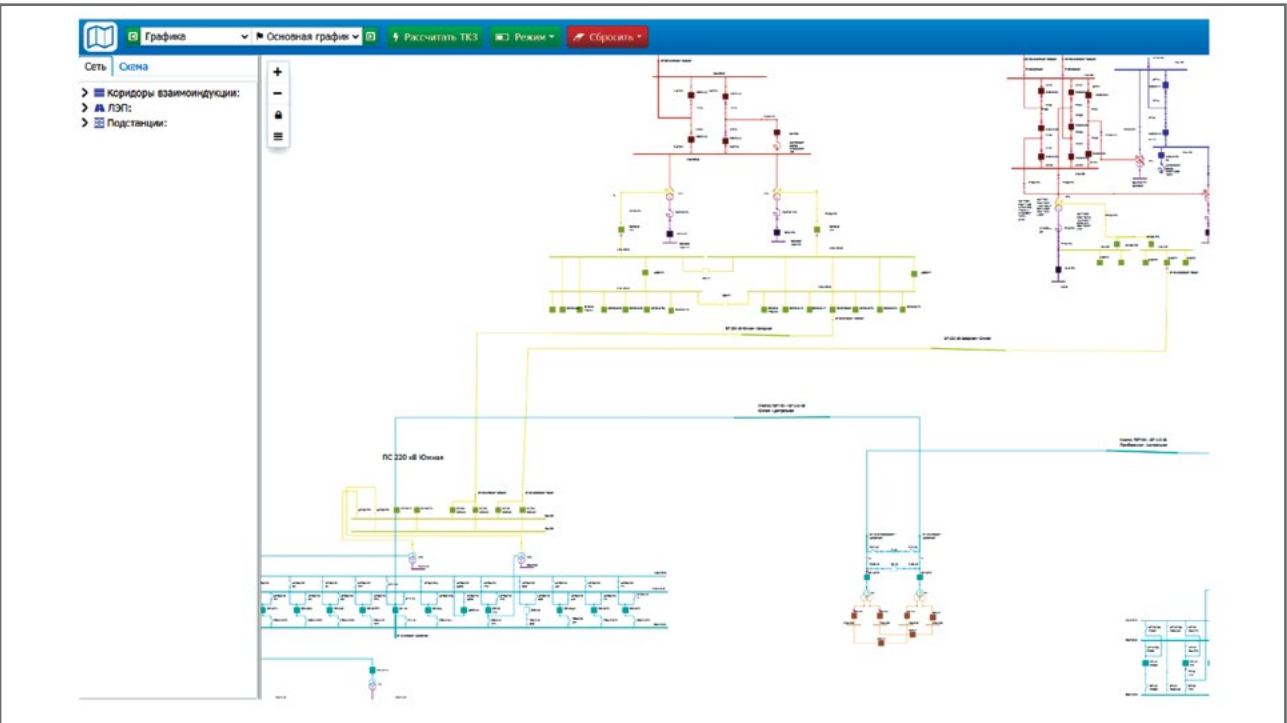


Рис. 10. Схема сети в ПТКЭ

Программная часть автоматизированных испытаний ПТК «Приёмка» включает два основных модуля «Аттестация»

и «Проверка», которые содержат сценарии испытаний устройств (шкафов) РЗА на всех этапах их жизненного цикла.

Аттестационные испытания выполняются полностью в автоматическом режиме, однотипно для устройств различных

Реестр объектов реконструкции и строительства

Поиск

Функциональный

По месту установки

▼ ПАО "ВОСКЕС"

▼ МЭС Волги

▼ МЭС Востока

▼ МЭС Западной Сибири

▼ МЭС Расчеты

▼ МЭС Северо-Запада

▼ МЭС Сибири

▼ МЭС Урала

▼ МЭС Центра

▼ Валдайское ПМЭС

▼ Верхне-Донское ПМЭС

▼ Вологодское ПМЭС

▼ Иновационное ПМЭС

▼ ПС 220 кВ Левобережная

▼ ПС 220 кВ Южная

▼ ПС 110 кВ Центральная

▼ ПС 750 кВ Северная

▼ ПС 500 кВ Восточная

▼ ПС 500 кВ Западная

▼ ПС 220 кВ Правобережная

▼ Московское ПМЭС

▼ Приокское ПМЭС

▼ Черноемское ПМЭС

▼ МЭС Юга

▼ МЭС для интеграции ТКЗ

Перечень типовых ПС

График монтажа и наладки (строительство)

График монтажа и наладки (реконструкция)

Перечень демонтируемых шкафов

Перечень демонтируемых устройств

Перечень документов

Количество: 21

Монтаж

Наладка

Постановка под напряжение

Ввести в работу

Отчет

	№ ФИП	Титул	Наименование шкафа	Статус шкафа	Место установки	Дата завершения монтажных работ план	Дата завершения монтажных работ факт	Дата завершения наладочных работ план	Дата завершения наладочных работ факт	Дата постановки под рабочее напряжение план	Дата постановки под рабочее напряжение факт
			защиты Т-2								
	05/07-23	Строительство ПС 110 кВ Центральная	Шкаф Р14, О9Т 031.01-0(1) (АУВ). Автоматика вводного выключателя ВВ-3 Т-1	Смонтировано	ПЦУ	09.07.2023	13.07.2023				
	05/07-23	Строительство ПС 110 кВ Центральная	Шкаф Р11, ШЗТ 210.01-0(1) (ГЗ Т, ГЗ РПН). Защиты Т-2	Смонтировано	ПЦУ	09.07.2023					
	05/07-23	Строительство ПС 110 кВ Центральная	Шкаф Р22, О9Т 051.01-0(1) (АУВ, АВР). Автоматика ШСР-3-4	Смонтировано	ПЦУ						

изготовителей. В процессе испытаний не требуются ручные манипуляции, изменения схемы подключения, перепрограммирование уставок, функциональной логики, выходных реле. Устройство проверяется как «черный ящик» (неизвестная система с известной ответной реакцией на входные сигналы), на вход которого подаются стандартизированные тестовые воздействия из COMTRADE-файлов аварийных осциллограмм (рис. 13), сформированных для заданных мест КЗ в модели участка энергосистемы. Сам процесс испытаний оформлен как типовой

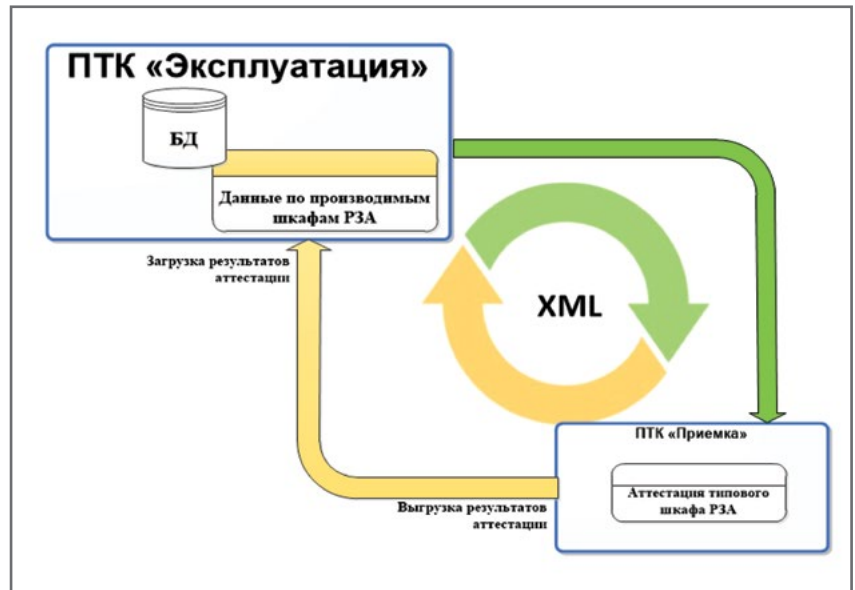


Рис. 12. Взаимодействие ПТКЭ и ПТК «Приёмка» на этапе аттестации типовых шкафов

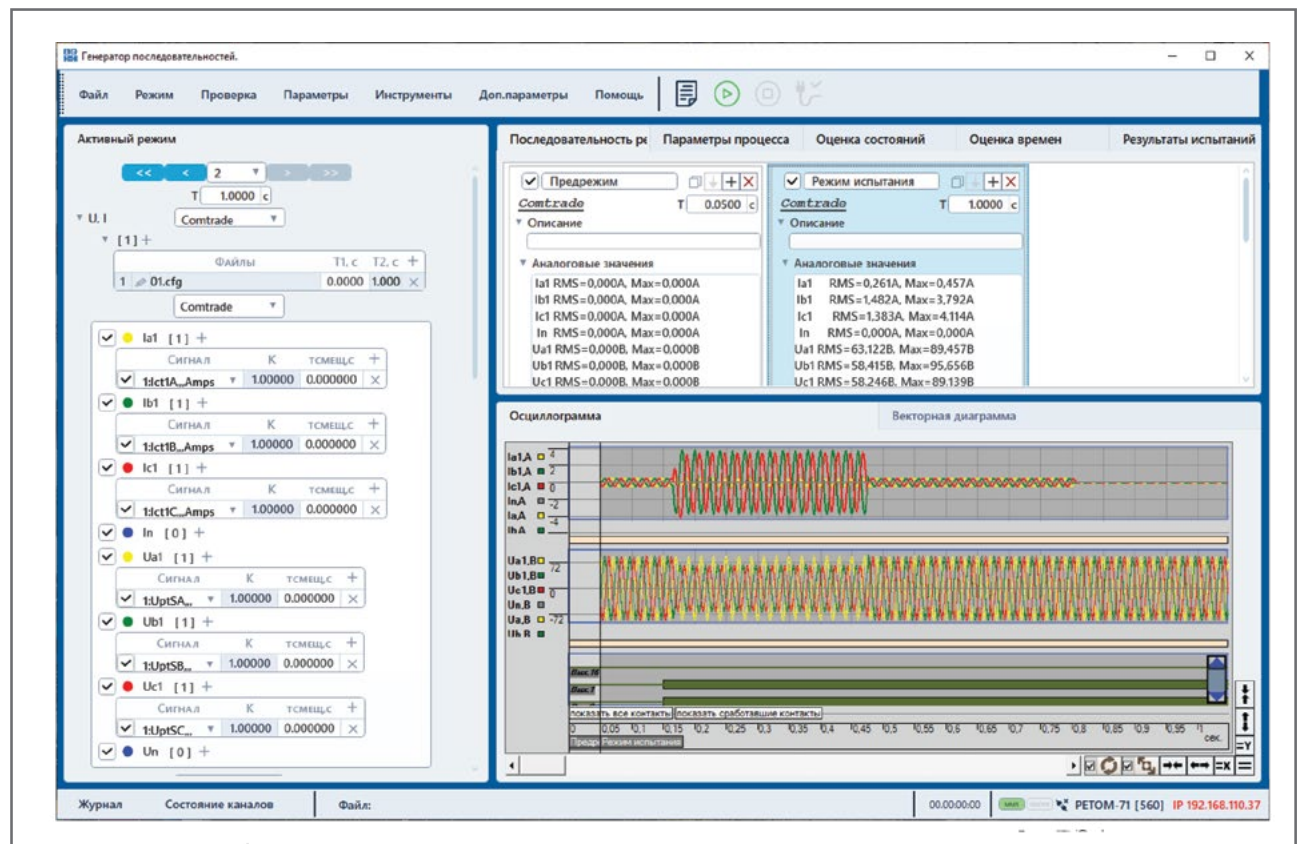


Рис. 13. Окно тестового воздействия для аттестации типового шкафа РЗА на основе COMTRADE-файла

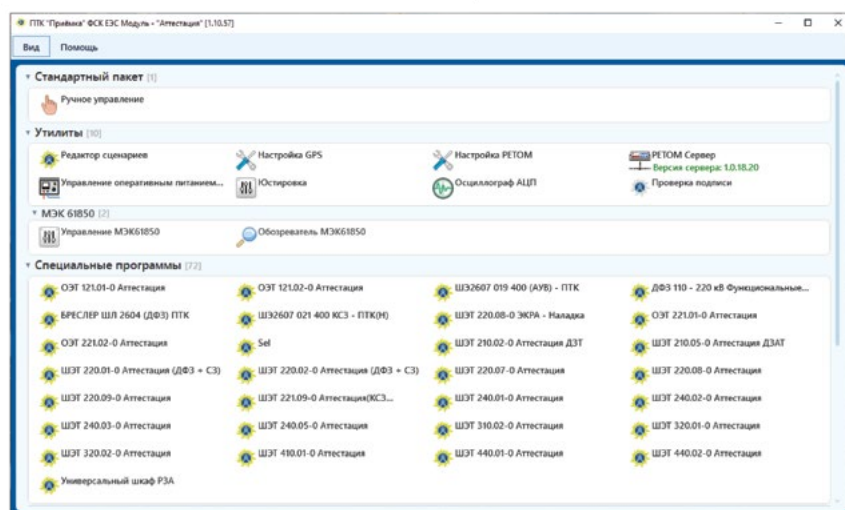


Рис. 14. Модуль «Аттестация» ПТК «Приёмка»

сценарий, состоящий из набора проверок и последующего анализа правильности работы по контролируемым логическим сигналам. Для каждого типа шкафа создаётся единый сценарий испытаний, независимо от фирмы-производителя, который запускается и выполняет тесты из оболочки ПТК «Приёмка-Аттестация» (рис. 14).

Процесс подготовки к аттестационным испытаниям заключается в импорте уставок в сценарий проверки и сборке схемы подключения ПТК «Приёмка» к шкафу в соответствии с описанием сценария аттестации. Время испытаний одного шкафа занимает около 20–30 минут. По окончании формируются защищённый цифровой подписью протокол в формате PDF для удобного просмотра и файл в формате XML для автоматического анализа и последующего воспроизведения испытаний. Эти файлы передаются в ПТКЭ.

Результаты аттестационных испытаний загружаются в ПТКЭ на защищённый сервер производимого оборудования, доступный для пользователей заводов-изготовителей оборудования РЗА.

V. Стадия подготовки сценариев для проведения наладки, приёмки и других работ ТО РЗА

Для проверки шкафов РЗА на этапах наладки, приёмки из наладки и последующего

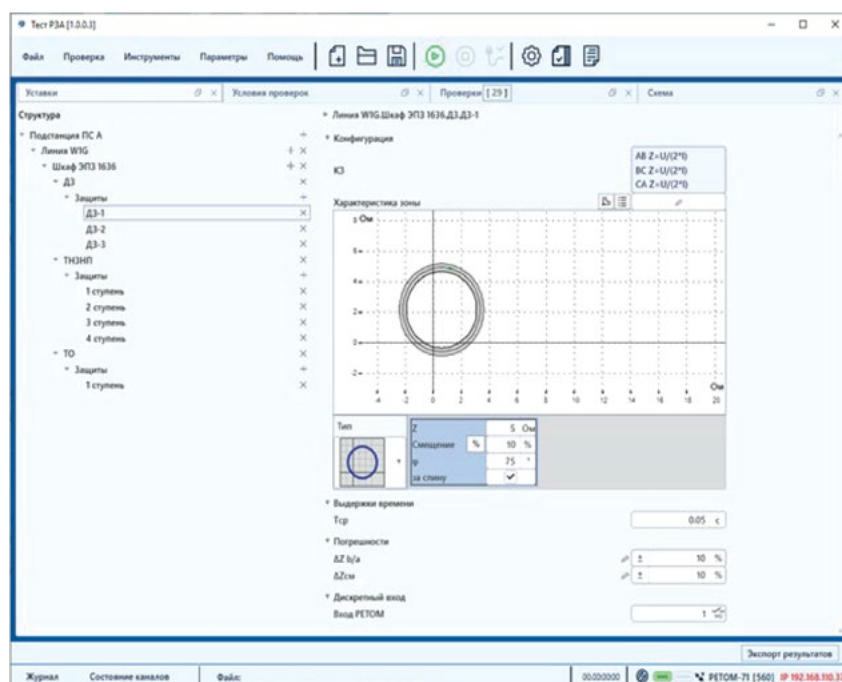


Рис. 15. Редактирование сценария наладки шкафа РЗА

технического обслуживания (ТО) шкафов РЗА (в том числе послеаварийные проверки), предназначен программный модуль «Проверка», в состав которого входит редактор сценариев испытаний.

Типовой подход к использованию шаблонов сценариев испытаний и выбор однотипных логических сигналов ускоряет разработку автоматических программ проверки. Исключаются программные блоки, отвечающие за анализ логики, версий набора данных и необходимость поддержки разных протоколов связи с МП терминалом, а также исключается программирование и восстановление настроек терминала после проверки.

Основные особенности:

- визуальное создание набора проверок от отдельного реле до комплексов РЗА присоединений подстанции (рис. 15);
- возможность повторного использования готовых шаблонов, наследование и редактирование;
- шаблоны проверки отдельных реле, измерительных органов функций защит интегрируются в шаблоны сценариев для многофункциональных МП терминалов и шкафов РЗА;
- формирование отдельной программы проверки шкафа на основе готового шаблона;
- доступны шаблоны протоколов, разбора (импорта)

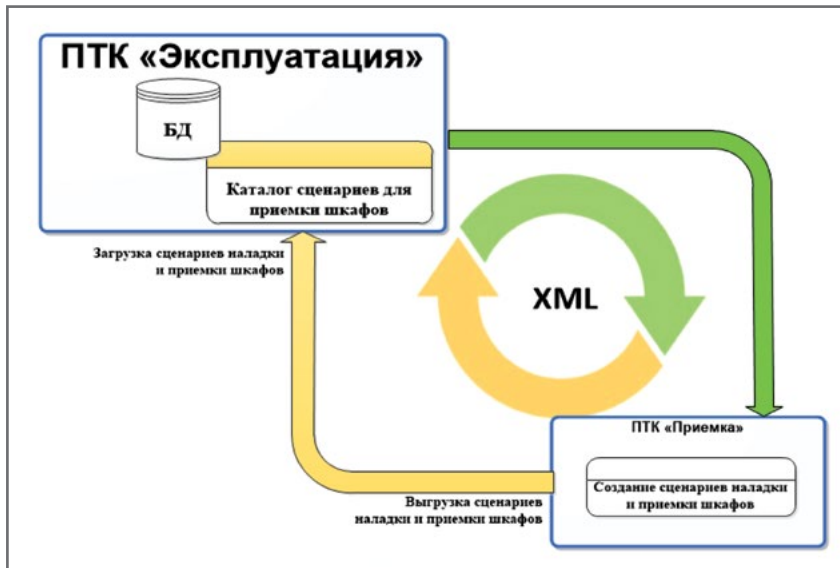


Рис. 16. Взаимодействие ПТКЭ и ПТК «Приёмка» на этапе создания сценариев наладки (приёмки из наладки, ТО и др.)

уставок, чтения параметров из шкафа.

Особенности импорта уставок в сценарий проверки:

- импорт уставок из SCL-файла — универсальное типовое решение для всех интеллектуальных электронных устройств (ИЭУ) РЗА;
- импорт уставок из текстового файла — решение для нетиповых реализаций шкафов с МП-терминалами;
- возможность подстройки разбора (импорта) уставок;
- автоматический разбор и пересчёт условий испытаний из введённых или импортированных уставок;
- формирование бланка уставок.

Использование логических сигналов в отчётах MMS для автоматизации проверок

ИЭУ РЗА различных производителей открывает следующие возможности:

- проверка параметров срабатывания функций защиты и автоматики по MMS-отчётам исключает необходимость переключения схемы испытаний и переконфигурирования шкафа за счёт наличия всех необходимых сигналов в MMS-отчётах;
- при типовом наборе сигналов обеспечивается возможность автоматического проведения испытаний с использованием одного и того же шаблона для разных производителей.

Графический инструмент для создания собственного алгоритма проверки:

- предназначен для создания шаблонов проверок нестандартных органов защиты либо модификации

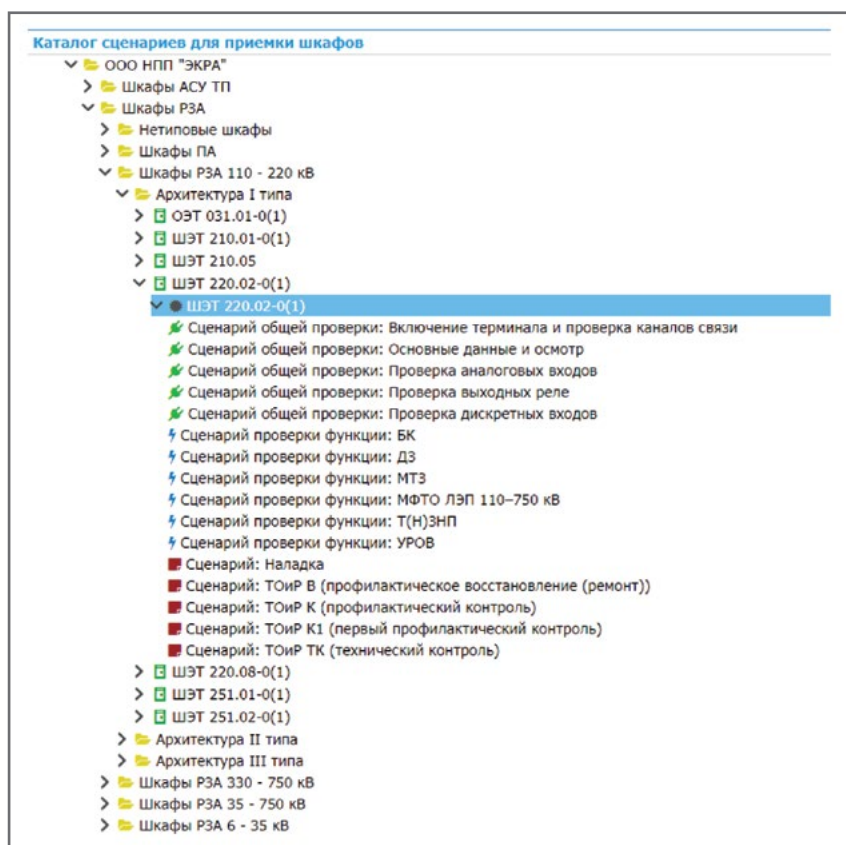


Рис. 17. Каталог сценариев испытаний для приёмки шкафов РЗ в ПТКЭ

Типовой подход к использованию шаблонов сценариев испытаний и выбор однотипных логических сигналов ускоряет разработку автоматических программ проверки

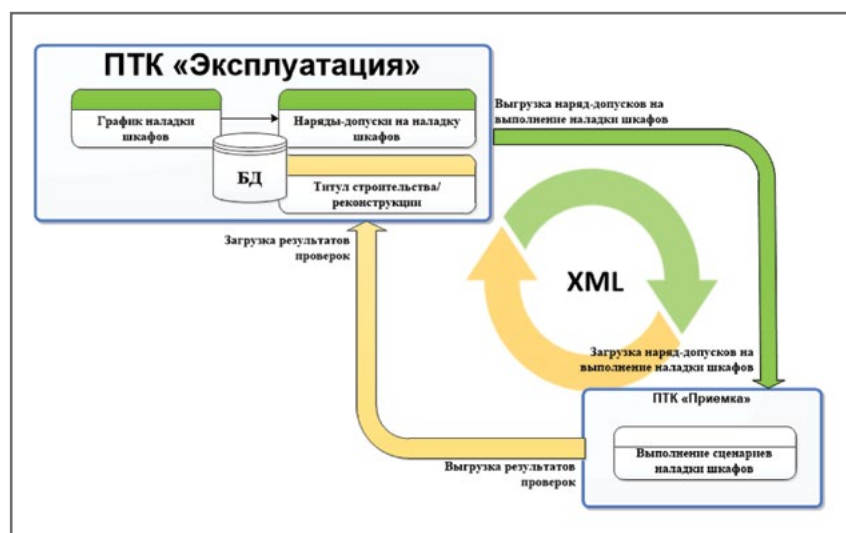


Рис. 18. Взаимодействие ПТКЭ и ПТК «Приёмка» на этапе наладки шкафа РЗА

стандартных алгоритмов поиска;

- полностью графическое задание алгоритмов, циклов, анализа результата и сохранение в протоколе;
- повторное использование разработанных ранее алгоритмов проверки.

Готовые сценарии ТО РЗА загружаются в ПТКЭ на защищённый сервер производимого оборудования, доступный для пользователей заводов-изготовителей оборудования РЗА (рис. 16, 17).

VI. Стадия наладки оборудования

После выполнения монтажа оборудования в ПТКЭ формируется график наладки, содержащий плановые даты её выполнения. Порядок взаимодействия ПТКЭ и ПТК «Приёмка» на этапе наладки показан на рис. 18.

В запланированную дату в ПТКЭ открывается наряд-допуск на выполнение наладочных работ, содержащий необходимые данные для передачи в ПТК «Приёмка» (рис. 19).

Процедура наладки РЗА выполняется полностью в автоматическом режиме независимо от типа и изготовителя шкафа. Для автоматизации процедуры наладки устройств различных производителей и разных архитектур выполняется ряд требований:

- проведение испытаний на рабочих уставках

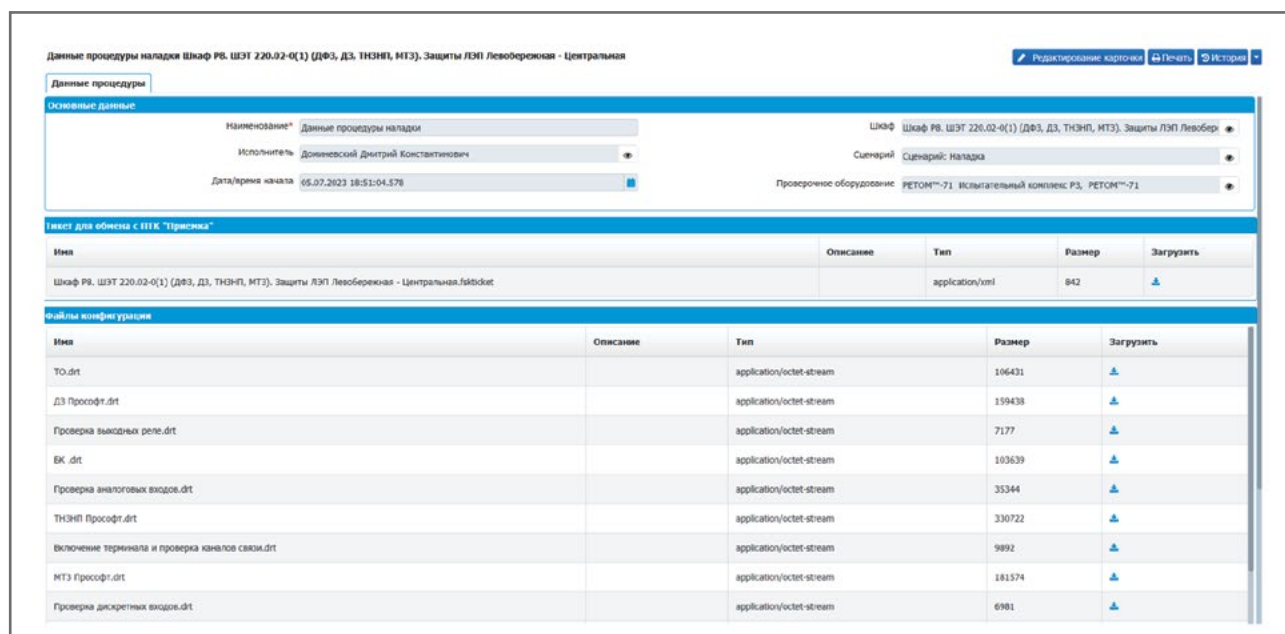


Рис. 19. Данные процедуры наладки в ПТКЭ

- без переконфигурирования (изменения настроек срабатывания и выходных реле) шкафов;
- считывание из типовых и нетиповых шкафов РЗА уставок из файла параметров настройки и подстройка условий испытаний под них;
- использование унифицированных (типовых) выходных сигналов шкафов при тестировании с использованием стандартных протоколов обмена с АСУТП;
- использование стандартизированной библиотеки шаблонов проверок шкафов с возможностью быстрой подстройки под особенности реализации конкретного изготовителя или нетиповую модификацию шкафа РЗА;
- формирование защищённого протокола испытаний

с возможностью подстройки его вида.

Процедура наладки выполняется в тесном взаимодействии с ПТК «Эксплуатация» и которая начинается с получения «Наряда-допуска». Вход в процедуру наладки осуществляется по паролю пользователя через «Наряд-допуск» с импортом необходимого сценария наладки шкафа, SCL-файла уставок, а также всех необходимых параметров (название организации, ФИО проверяющего, заводской номер шкафа и т.д.). Завершается наладка загрузкой в ПТК «Эксплуатация» подписанных цифровой подписью протокола в формате PDF (рис. 20) и архива проверки в формате XML. Таким образом, решается несколько задач:

- однозначная идентификация проверяющего сотрудника;

- подтверждение выполнения всего объёма испытаний цифровой подписью;
- уменьшение вероятности ошибок.

В ходе мастер-класса была продемонстрирована выполняемая в автоматическом режиме наладка шкафа ШЭТ 220.02-0 (ДФЗ+СЗ) с терминалом фирмы НПП «ЭКРА».

VII. Стадия приёмки и ввода оборудования в эксплуатацию

Для выполнения комплексной проверки в ПТКЭ подготавливаются данные для выполнения комплексной проверки. Для этого пользователь выполняет расчёт ТКЗ для разных видов КЗ в заданных контрольных точках сети. При этом формируется массив токов и напряжений, измеренных в месте установки проверяемого

Протокол проверки	
Начало	28.06.2023 10:39:21
Окончание	04.07.2023 16:00:49
Длительность	149:21:28
Проверка аппаратной части комплекта	
Основные данные и осмотр	
[Уставки и данные терминала] Заполнение уставок и данных терминала	
ДЗО/Филиал сетевой организации	ФСК РОССЕТИ
Филиал ДЗО/Предприятие филиала	ФСК РОССЕТИ
Подстанция	Центральная
Присоединение	W2G
Организация, проводившая техническое обслуживание	ФСК РОССЕТИ
Свидетельство о регистрации электролаборатории	111
Дата проведения технического обслуживания	05.07.2023
Вид технического обслуживания	Наладка
Основные технические данные шкафа	
Тип терминала	ШЭ2607
Заводской номер	30341
Дата выпуска	08.2020
Напряжение постоянного оперативного тока, В	220
Номинальное напряжение переменного тока, В	100
Номинальный переменный ток, А	5
Частота, Гц	50
Уставки заданы	
ОК	
Номер протокола	

Рис. 20. Фрагмент протокола проверки

го устройства РЗА. При наступлении плановой даты выполнения приёмки шкафа, в ПТКЭ открывается «наряд-допуск» на выполнение этой работы, к которому прикладываются результаты расчёта ТКЗ, и загружается в ПТК «Приёмка» (рис. 21).

Процесс приёмки из наладки УРЗА выполняется полностью в автоматическом режиме и может проводиться в объёме комплексной проверки взаимодействия шкафов РЗА и элементов первичного оборудования присоединения за счёт синхронной работы ис-

пытательных систем. Предлагается принципиально новый подход, который похож на механизм аттестации, описанный выше. Устройство проверяется как «чёрный ящик», на вход которого подаются рассчитанные в ПТК «Эксплуатация» тестовые воздействия токами и напряжениями для заданных точек реальной модели энергосистемы. Процесс испытаний оформлен как сценарий, состоящий из набора проверок, включающих в себя последовательную выдачу ТКЗ с испытательного оборудования на УРЗА и последующий анализ правильности работы

по контролируемым логическим сигналам. Логические сигналы и их ожидаемые состояния несрабатывания/срабатывания выбираются исходя из заданных уставок защит и параметров аварийного режима. Сценарий создаётся один раз, параметры токов и напряжений «привязаны» к расчётному файлу, получаемому из ПТК «Эксплуатация». Сценарий запускается из оболочки ПТК «Приёмка» — модуль «Проверка» и может использовать не только выходные реле, но и логические сигналы в отчётах MMS, передаваемые в среде Ethernet.

Время комплексных испытаний занимает порядка 20–30 минут. По окончании формируются защищённые цифровой подписью протокол в формате PDF для удобного просмотра и файл архива испытаний в формате XML для автоматического анализа и последующего использования. Эти результаты загружаются в ПТК «Эксплуатация».

В ходе мастер-класса была продемонстрирована автоматическая приёмка из наладки комплекса шкафов РЗА присоединения ЛЭП 110 кВ в составе шкафов ШЭТ 220.02–0 ЭКРА (ДФЗ+СЗ) и ШЭТ 251.01–0 ПРСТ (АУВ) с терминалами разных изготовителей (НПП «ЭКРА» и «Прософт», соответственно). Для комплексной проверки была организована синхронная работа удалённо расположенных

испытательных комплексов с применением глобальной навигационной спутниковой системы (рис. 22).

В случае успешного прохождения приёмки, шкаф вводится в работу. В ПТКЭ отражается факт ввода шкафа в работу, и загружаются протоколы испытаний (рис. 23).

VIII. Стадия експлуатації обладнання

Эксплуатация представляет собой основной и самый продолжительный этап жизненного цикла оборудования. Для цифровизации этого этапа в ПАО «Россети» был внедрён ПТК «Эксплуатация», в основные задачи которого входит автоматизация всех бизнес-процессов, происходящих на этой стадии, с помощью следующих модулей:

- модуль «Реестр устройств» — обеспечивает ведение реестра устройств РЗА, АСУТП, СИ с привязкой к месту установки и функциональным местам;
- модуль «Реестр ЛЭП» — обеспечивает ведение реестра ЛЭП с учётом параметров;
- модуль «Перечни СИ» — обеспечивает ведение перечней СИ по категориям (сфера ГРОЕИ, вне сферы ГРОЕИ, категория «Индикатор», средства калибровки и эталоны и т. п.);
- модуль «ТОиР», «модуль ЗИП» — обеспечивает управление процессами

эксплуатации оборудования РЗА, АСУТП подстанции;

- модуль «Метрологический контроль» — обеспечивает управление процессами

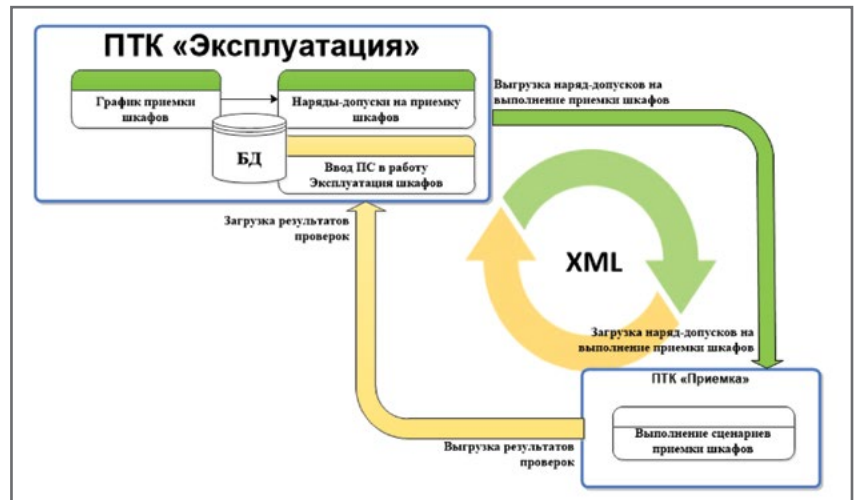


Рис. 21. Взаимодействие ПТКЭ и ПТК «Приёмка» на этапе приёмки шкафов РЗА из наладки

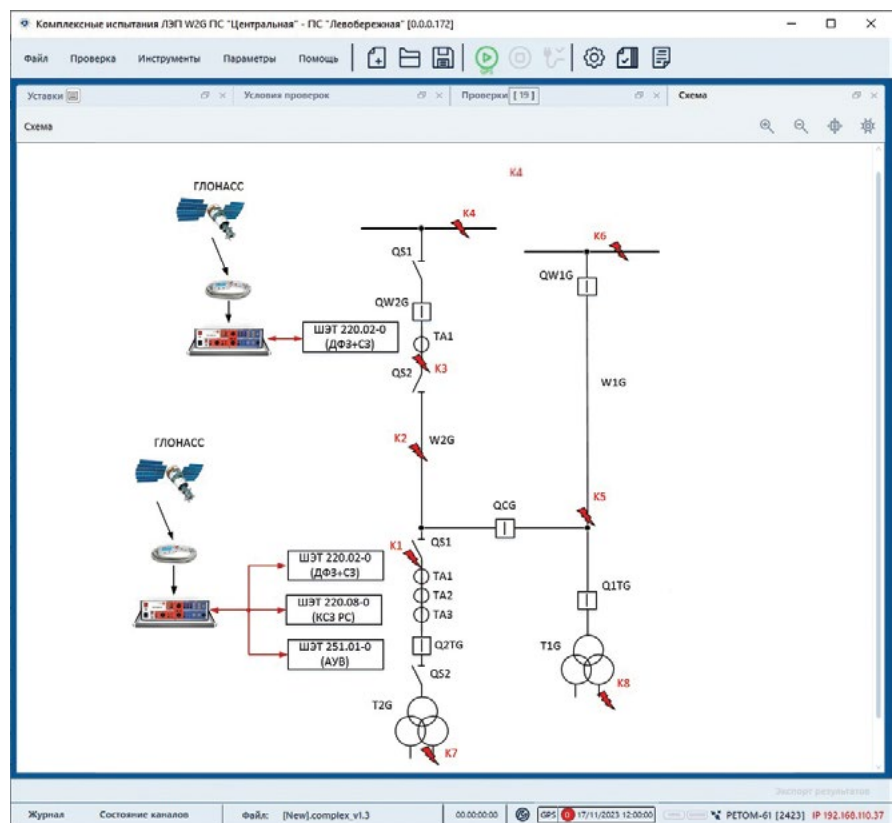


Рис. 22. Схема комплексной проверки шкафов РЗА присоединения ЛЭП 110 кВ

Протокол проверки	
Организация	ФСК РОССЕТИ
Подстанция	Центральная
Уровень напряжения	110
Присоединение	W2G
Проверяющий	Мохов
Дата проведения	05.07.2023
Номер протокола	15540
Начало	28.06.2023 14:19:13
Окончание	28.06.2023 14:24:09
Длительность	00:04:56

"К1 Трёхфазное ABC в начале W2G"	
	Результат
102012 - Действие ВЧЗ сторона 1	норма
102012 - Действие ВЧЗ сторона 2	норма
010001 - ИО Z Iст.АВ 010002 - ИО Z Iст.ВС 010003 - ИО Z Iст.СА	норма
106005 - Iст. ДЗ	норма
010004 - ИО Z IIст.АВ 010005 - ИО Z IIст.ВС 010006 - ИО Z IIст.СА	норма
106007 - IIст. ДЗ	норма
010007 - ИО Z IIIст.АВ 010008 - ИО Z IIIст.ВС 010009 - ИО Z IIIст.СА	норма
106008 - IIIст. ДЗ	норма
012025 - ПО IO Iст.ТЗ	норма
108001 - Iст. ТНЗНП	норма
012026 - ПО IO IIст.ТЗ	норма
108002 - IIст. ТНЗНП	норма
012027 - ПО IO IIIст.ТЗ	норма
108003 - IIIст. ТНЗНП	норма
012028 - ПО IO IVст.ТЗ	норма
108004 - IVст. ТНЗНП	норма
Срабатывание УРОВ	норма
Срабатывание ТАГВ	норма

Рис. 23. Фрагмент протокола комплексной проверки РЗА присоединения

- эксплуатации оборудования СИ подстанции (поверка, калибровка, контроль исправности, аттестация и т.п.);
- модуль «Задания на изменение параметров срабатывания» — обеспечивает ведение заданий от АО «СО ЕЭС» и от собственников на изменение параметров срабатывания устройств РЗА;
 - модуль «НСИ» — обеспечивает ведение нормативно-справочной информации, а также ведение произво-

- дителями устройств данных по своим продуктам, поставляемым ПАО «Россети» (устройствам, шкафам);
- модуль «НТД» — обеспечивает ведение нормативно-технической документации ПАО «Россети»;
 - модуль «Персонал» — обеспечивает ведение допусков персонала к выполнению видов работ;
 - модуль «Капитальное строительство» — обеспечивает ведение титулов реконструкции и строительства

объектов ПАО «Россети»;

- модуль «Ведение и расчёт КПЭ» — обеспечивает ведение и расчёт ключевых показателей эффективности;
- модуль «Формирование отчётов» — обеспечивает формирование отчётов по заданным шаблонам и в свободной форме;
- модуль «Журналирование» — обеспечивает формирование и ведение журналов в электронном виде;
- модуль «Оповещения» — обеспечивает формирование оповещений для напоминания или информирования о событиях жизненного цикла РЗА (события ТОиР, события срабатывания, события отказов, события самодиагностики);
- модуль «Сбор данных с уровня ПС» — автоматизированный сбор информации с устройств для выполнения их мониторинга с целью перспективного перехода на техническое обслуживание по состоянию;
- модуль «Оценка состояния устройств РЗА» — обеспечивает автоматизированный анализ состояния устройств РЗА с выполнением оценки состояния;
- модуль «Анализ технологического процесса по ЛВС ПС» — обеспечивает анализ сети ЛВС ПС на соответствие конфигурации, указанной в SCD файле подстанции;

- ❑ модуль «Регистрация неисправностей устройств РЗА, АСУТП» — обеспечивает регистрацию и анализ неисправностей и отказов устройств;
- ❑ модуль «Технологические нарушения» — обеспечивает регистрацию технологических нарушений, происходящих на объектах ПАО «Россети»;
- ❑ модуль «Отображение осциллограмм аварийных процессов» — обеспечивает просмотр и анализ осциллограмм в браузере без необходимости устанавливать дополнительное программное обеспечение;
- ❑ модуль «Анализ работы РЗА» — обеспечивает автоматизированный анализ работы РЗА с применением современных технологий;
- ❑ Графический модуль — обеспечивает графическую визуализацию схем ПС, ЛЭП, электрической сети, расчётных данных и уставок РЗА;
- ❑ модуль «Построение расчётной модели схемы сети» — обеспечивает построение модели схемы электрической сети для расчёта токов короткого замыкания по фазным координатам;
- ❑ модуль «ТКЗ» — обеспечивает выполнение расчёта токов КЗ в фазных величинах для построенных моделей электрической сети и в точке КЗ и в ветвях модели электрической сети;
- ❑ модуль «Поиск расчётных режимов» — обеспечива-

ет автоматический выбор точек короткого замыкания (КЗ) и поиска расчётного режима КЗ для модуля расчёта параметров срабатывания РЗА;

- ❑ модуль «Расчёта параметров срабатывания РЗА» — обеспечивает расчёт параметров срабатывания устройств РЗА (обязательных и индивидуальных) по выбранным точкам КЗ и расчётным режимам;
- ❑ модуль «Хранение параметров срабатывания и результатов расчёта уставок устройств РЗА»
- ❑ модуль «Открытая платформа» — открытая платформа для расчёта уставок ЭМ РЗА и МП РЗА различных производителей;
- ❑ модуль «Администрирование» — обеспечивает ведение учётных записей их ролей и полномочий.
- ❑ модуль «Информационный обмен и интеграция» — обеспечивает взаимодействие со смежными программными комплексами (АСУ РЭО) и корпоративными информационными системами ПАО «Россети» (АСУЕ, АС ВЭЖД, СУПА, САПР ЭК РЗА, ПТК «Приёмка»).

По мере накопления данных об оборудовании РЗА, АСУТП, СИ, в ПТКЭ формируется паспорт устройства, содержащий информацию обо всех стадиях его жизненного цикла.

IX. Стадия демонтажа/реконструкции оборудования

Завершающей стадией жизненного цикла устройства является его демонтаж и замена новой единицей в ПТКЭ в результате реконструкции. Демонтаж может быть выполнен в результате модернизации подстанции или инициирован подсистемой оценки состояния оборудования, входящей в ПТКЭ, если на протяжении эксплуатации оборудование показывает неудовлетворительные результаты при выполнении своих функций.

Заключение

Представленный в статье механизм полного сопровождения жизненного цикла РЗА и АСУ ТП является первой полнотой отечественной практической реализацией в данной области.

В результате тесного сотрудничества разработчиков ПТК «Эксплуатация», САПР ЭК РЗА и ПТК «Приёмка» удалось бесшовно связать три разных программных продукта в едином цифровом информационном поле, используя унифицированные международные и отечественные стандарты, такие как МЭК 61850 (SCL), МЭК 61970/61968 (CIM), серия ГОСТ Р 58651. Данное решение позволит значительно упростить и снизить затраты на всех стадиях жизненного цикла оборудования РЗА и АСУТП, а также повысить надёжность энергосистемы в целом. ♡