

DOI: 10.47026/1810-1909-2021-1-99-110

УДК 621.316.925:[681.516.54:004.273]

ББК 327-053.4-5с51

Д.В. МОИСЕЕВ, Н.А. ГАЛАНИНА, Н.Н. ИВАНОВА

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДИАГНОСТИКИ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЫ РЗА\*

**Ключевые слова:** цифровая централизованная система релейной защиты и автоматики (РЗА), программный комплекс диагностики централизованной системы РЗА, экспресс-анализ аварийных режимов, система диагностики устройств РЗА, цифровая подстанция.

Благодаря современному состоянию развития современных информационных технологий и появлению новых международных стандартов МЭК 61970 и МЭК 61968 появились дополнительные возможности для решения задач автоматизации управления энергообъектами, создания подстанции цифрового типа. Цифровая подстанция представляет собой электросеть с системой контроля, защиты и управления и основана на передаче информации в цифровом формате. Целью исследования является проектирование архитектуры программного комплекса, предназначенного для диагностики централизованной системы РЗА, который является одним из основных элементов цифровой подстанции. В статье разработана структура программного комплекса, описаны и сгруппированы данные системы диагностики централизованной системы РЗА, приведена ее конфигурация, а также рассмотрены вопросы конфигурации РЗА. Даны рекомендации по настройке функций РЗА по результатам анализа их работы с помощью алгоритмов определения места повреждения и эталонных алгоритмов. Описан алгоритм работы цифровой системы диагностики централизованной системы РЗА и приведена диаграмма потоков данных цифровой системы диагностики централизованной системы РЗА. Приведен пример работы клиентской части программы в виде протокола экспресс-анализа аварийного режима. В настоящее время программный комплекс проходит этап тестирования и находится в опытной эксплуатации.

В настоящее время активно ведутся исследования, связанные с цифровой трансформацией отраслей топливно-энергетического комплекса России [1, 4]. Минэнерго России был разработан проект «Цифровая энергетика»<sup>1</sup>, согласно которому необходимо создать условия для внедрения цифровых технологий и платформенных решений. В энергетике при реализации данного проекта к 2024 г. планируется достичь снижения продолжительности перерывов в электроснабжении и средней частоты технологических нарушений на 5%, повышения уровня технологического состояния производственных фондов электроэнергетики для объектов на 5% без увеличения затрат на поддержание технического состояния, снижения на 20% аварийности на объектах электроэнергетики, связанной с техническим состоянием производственных фондов.

\* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Чувашской Республики в рамках научного проекта № 19-48-210005 p\_a.

<sup>1</sup> Ведомственный проект «Цифровая энергетика» [Электронный ресурс] // Министерство энергетики Российской Федерации: офиц. сайт. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/14559>.

Результаты развития современных информационных технологий и появление новых международных стандартов МЭК 61970 и МЭК 61968, которые регламентируют принципы создания автоматизированных систем технологического управления энергосистемой и информационных систем корпоративного управления электросетевых компаний, предоставляют дополнительные возможности для решения задач автоматизации и управления энергообъектами в направлении создания подстанции нового, а именно цифрового, типа [12–15, 17]. В перспективе такая цифровая подстанция будет являться ключевым компонентом интеллектуальной сети (Smart Grid) [3, 5, 7, 11, 15].

Целью данной статьи является разработка архитектуры программного комплекса диагностики централизованной системы РЗА.

Программный комплекс (ПК) диагностики централизованной системы РЗА имеет клиент-серверную сетевую архитектуру, которая позволяет распределить функции вычислительной системы между несколькими независимыми компьютерами в сети, обеспечить необходимый уровень защиты данных за счет наделения клиентов определенными правами доступа к системе и др. [16]. В состав разработанного ПК входят: ПК RPADiagnosticsConfigurator (конфигуратор системы); ПК RPADiagnosticsServer (сервер системы); ПК RPADiagnostics (клиент системы); база данных (БД) (рис. 1).

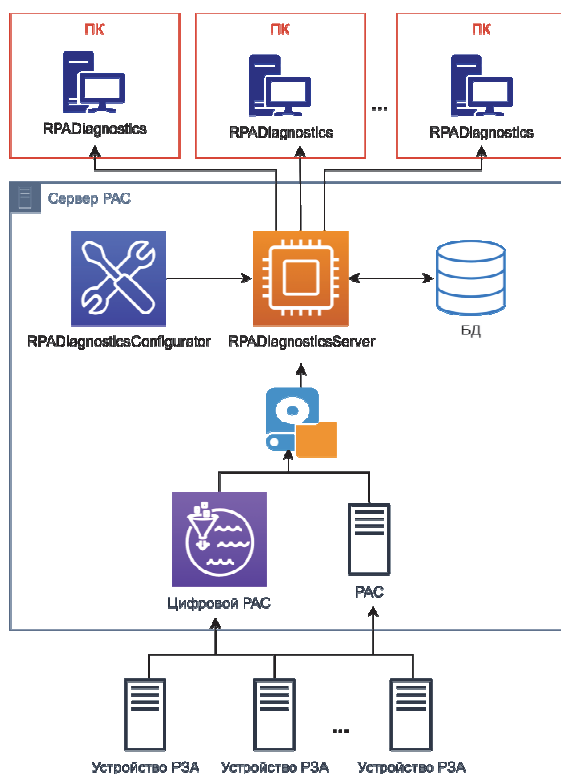


Рис. 1. Схема размещения программного комплекса диагностики централизованной системы РЗА

Одной из основных задач, выполняемых ПК, является проведение процедуры экспресс-анализа развития аварий на различных уровнях электрообъекта [8, 9]. Данная процедура запускается после срабатывания функции фиксации автоматического отключения силового выключателя микропроцессорными или другими устройствами РЗА. Источниками входной информации являются сигналы, получаемые из цифрового регистратора аварийных событий (ЦРАС) и из РАС традиционного исполнения, а также параметры функций РЗА, описанные стандартизированной моделью данных.

Осциллограммы, записанные ЦРАС и РАС традиционного исполнения в централизованной системе РЗА, загружаются в общую директорию, в которой имеет доступ и RPADiagnosticsServer. Сервер, анализируя поступающие осциллограммы на основе конфигурации, настроенной в RPADiagnosticsConfigurator, записывает результаты анализа в БД. Клиенты RPADiagnostics получают информацию о результатах анализа и выводят информацию пользователю системы для его дальнейшего принятия решений.

**Структура данных системы диагностики централизованной системы РЗА.** Система диагностики централизованной системы РЗА настраивается в ПК RPADiagnosticsConfigurator. Данные системы диагностики централизованной системы РЗА разделены на три группы – общие настройки, конфигурация системы и настройки хранения [6].

В общих настройках содержится директория COMTRADE файлов, в которой модуль RPADiagnosticsServer «Монитор COMTRADE файлов» осуществляет мониторинг новых появившихся файлов. Также в общих настройках хранятся данные о TCP/IP-портах подключения клиентов RPADiagnostics.

Настройки хранения содержат параметры подключения к БД: имя сервера БД, имя БД, имя пользователя и пароль для подключения.

Конфигурация системы имеет древовидную иерархическую структуру и включает в себя всю информацию по объектам защиты. Большинство объектов конфигурации имеют уникальные идентификаторы и названия. Родительскими узлами в деревьях конфигураций являются электрические сети, дочерними – электрические подстанции и объекты защиты (ЛЭП, трансформатор и секция шин (СШ)), которые принадлежат электрическим подстанциям. Объект защиты ЛЭП имеет такие необходимые для расчета ОМП параметры, как длина линии сети, которая используется при анализе работы комплексов и функций защит, сигналы для включения и отключения реле положения для учета автоматических и оперативных блокировок. Все остальные параметры для данного объекта защиты хранятся в файле модели ЛЭП. Трансформатор и СШ наследуют все свойства объекта защиты и не имеют своих специфичных параметров, так как вся необходимая информация по этим объектам представлена в файле настроек устройств РЗА.

Ниже в иерархии настроек системы РЗА находятся комплекты защит. Здесь помимо задания идентификатора и названия можно установить ссылки на сигналы пуска и срабатывания соответствующего комплекта защит. Данные сигналы необходимо задавать в том случае, если устройство РЗА выдает

сигналы работы комплекта защит. Если отсутствуют эти сигналы, то анализ комплекта защит производится на основании работы функций защит, содержащихся в устройствах РЗА.

Устройства РЗА, помимо идентификатора и названия, имеют параметры ОМП, в которых приведена вся информация, необходимая для расчета места повреждения: имя файла модели ОМП, сигналы напряжения и тока для расчета. В зависимости от своего назначения устройства РЗА могут иметь различные наборы функций РЗА, например включение анализа по ОМП или по эталонным алгоритмам, установка сигналов пуска и срабатывания функции РЗА, задание ступеней защиты.

Конфигурация функций РЗА может быть следующих типов: максимальная токовая защита; токовая защита нулевой последовательности; дистанционная защита; защита минимального напряжения; направленная высокочастотная защита; максимальная токовая защита трансформатора; токовая защита нулевой последовательности трансформатора; дифференциальная защита трансформатора; дифференциальная защита шин.

В конфигурации функций защиты также задаются настройки функций РЗА для анализа по результатам ОМП или по эталонным алгоритмам.

Настройки функций РЗА для анализа по результатам ОМП содержат параметры выдержки срабатывания по времени и автоматического и оперативного ускорения. Функций РЗА для анализа по результатам ОМП на данном этапе разработки системы бывает только тех типов, которые осуществляют защиту ЛЭП, а именно: максимальная токовая защита, токовая защита нулевой последовательности, дистанционная защита, защита минимального напряжения и направленная высокочастотная защита [2, 10]. Каждый тип функции РЗА имеет свои параметры, контролируемые при анализе по результатам ОМП данной функции и комплекта защит. Максимальная токовая защита осуществляет контроль максимального тока, токовая защита нулевой последовательности – максимальный ток нулевой последовательности. Дистанционная защита следит за попаданием короткого замыкания в определенную зону контролируемой ЛЭП, защита минимального напряжения осуществляет контроль минимального напряжения. Направленная высокочастотная защита не обладает какими-либо параметрами, так как для данного типа функции РЗА достаточно выявить, имеет ли место авария на данной ЛЭП. Отсутствие некоторых функций РЗА в данном виде анализа обусловлено тем, что ОМП возможно только на ЛЭП и невозможно на трансформаторе и СШ.

Функции РЗА для анализа по результатам работы эталонных алгоритмов бывают всех типов функций РЗА системы диагностики. Конфигурации данных функций содержат имя файла настроек устройства РЗА (файл эталона), сигналы пуска и срабатывания функции РЗА по эталонному алгоритму, логические сигналы из файла настроек устройства РЗА и список сопоставленных пар сигналов из файла эталона и из COMTRADE файла.

**Алгоритм работы цифровой системы диагностики централизованной системы РЗА.** Работа цифровой системы диагностики сосредоточена в трех

программных компонентах – в конфигураторе RPADiagnosticsConfigurator, в сервере RPADiagnosticsServer и клиентах RPADiagnostics. После успешного конфигурирования и загрузки настроек системы в сервер начинается основной цикл работы сервера, состоящего из следующих модулей: монитор COMTRADE файлов; менеджер файлов эталона; анализатор функций РЗА (по ОМП, эталонным алгоритмам и устройствам РЗА); модуль расчета ОМП; модуль эталонного расчета; анализатор COMTRADE файлов на наличие пусков и срабатываний; интерфейс взаимодействия с БД; интерфейс взаимодействия с клиентами (рис. 2).

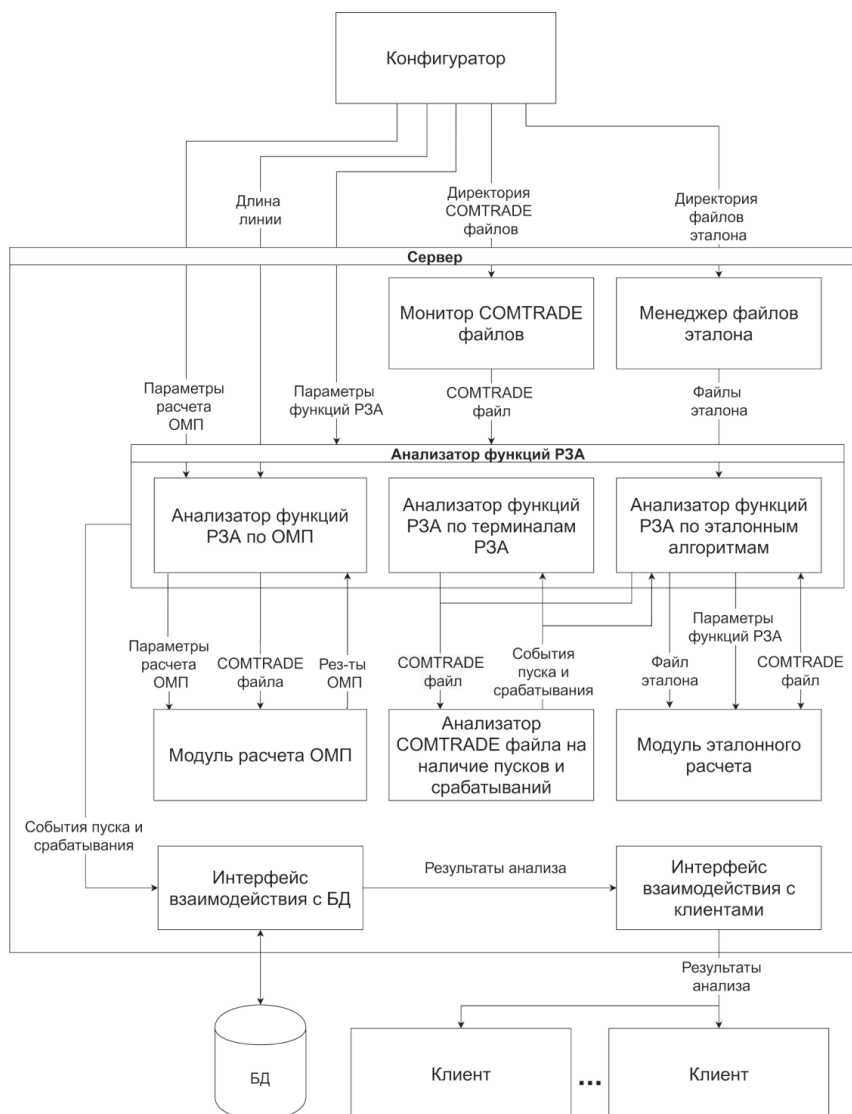


Рис. 2. Диаграмма потоков данных цифровой системы диагностики централизованной системы РЗА

*Монитор COMTRADE файлов.* Осциллограммы, записанные цифровым регистратором аварийных событий (ЦРАС) в централизованной системе РЗА, загружаются в сетевую директорию. Файлы должны иметь общепринятый формат регистрации осциллограмм переходных процессов (аварий) в энергосистемах COMTRADE (2013 г.). Монитор COMTRADE файлов осуществляет чтение вновь появившихся в папке осциллограмм и передает данные в систему диагностики для дальнейшего анализа.

*Менеджер файлов эталона.* Файлы настроек устройств РЗА (файлы эталона) считываются из директории файлов эталона при запуске сервера и сохраняются в оперативной памяти. Далее файлы эталона используются при анализе функций РЗА по эталонным алгоритмам.

Файлы эталона содержат информацию, необходимую для функционирования устройства РЗА, и имеют следующую структуру:

- основные настройки (задаются частота дискретизации, длительность записи осциллограмм и т.п.);
- аналоговые сигналы (описываются входные преобразователи устройств аналоговых сигналов (измерительных трансформаторов наблюдаемого объекта); для каждого аналогового входа указываются название, величина максимального заполнения АЦП, коэффициент трансформации, номинальное значение и т.п.);
- трехфазные присоединения (описываются каналы трехфазных систем шин и токовых присоединений, с указанием каналов нулевой последовательности);
- ЛЭП (вводятся объекты, описывающие линии электропередачи, которые объединяются с помощью соответствующих систем шин и токовых присоединений);
- входные дискретные сигналы (описываются входные дискретные сигналы устройства, для каждого из них указывается название и устанавливается флаг запрета/разрешения на запись сигнала в осциллограмму);
- выходные реле устройства (описываются выходные реле устройства, для каждого из них задается название и устанавливается флаг запрета/разрешения на запись осциллограммы);
- расчетные сигналы (описываются расчетные сигналы устройства, которые создаются на базе входных аналоговых сигналов (некоторые типы расчетных сигналов в качестве своих входов используют другие расчетные сигналы); для каждого расчетного сигнала задается определенный набор уставочных параметров);
- измерительные органы (описываются программные измерительные органы устройства, являющиеся частью его функциональной системы; для каждого измерительного органа задаются название, тип, контролируемая граница значения, коэффициент возврата и т.п.);
- внутренние логические сигналы (описываются внутренние бинарные сигналы функциональной схемы устройства, позволяющие анализировать его

работу в различных режимах; для каждого сигнала указывается название и устанавливается флаг запрета/разрешения на запись осциллограммы);

- сигналы управления выходными реле (задаются сигналы управления для любого выходного реле устройства, в соответствии с уровнем которого контакты реле будут находиться в замкнутом либо в разомкнутом состояниях; в качестве управляющих сигналов могут использоваться любые бинарные сигналы);

- сигналы пуска осциллографа (определяются условия пуска функции осциллографирования устройства; в качестве управляющего сигнала пуска может использоваться любой бинарный сигнал устройства; при выполнении хотя бы одного из условий пуска происходит запись осциллограммы текущего процесса в память устройства);

- файл логики устройства (задается функционально-логическая схема работы устройства, записываемая в файл).

*Анализатор функций РЗА.* Задача диагностики на правильность, ложность или отказ срабатывания и пуска функций защит устройств РЗА решается в анализаторе функции РЗА, который состоит из следующих подмодулей:

- анализатора функций РЗА по ОМП;
- анализатора функций РЗА по эталонным алгоритмам;
- анализатора функций РЗА по устройствам РЗА.

Если включен в конфигураторе анализ комплектов и функций защит по результатам ОМП, то после появления в системе осциллограммы модуль расчета ОМП выполняет расчет на основании полученного файла с данными. Анализатор функций РЗА по ОМП, получая в качестве входных параметров параметры функций РЗА, результаты ОМП и длину ЛЭП, выполняет анализ функций РЗА и передает результаты интерфейсу взаимодействия с БД.

Если в конфигураторе включен анализ комплектов и функций защит по результатам работы эталонных алгоритмов, то работа начинается с получения COMTRADE файла и файла эталона. Анализатор из конфигурации системы также получает параметры функций РЗА. Затем все данные передаются в модуль эталонного расчета для построения обновленной осциллограммы, содержащей дополнительные рассчитанные с помощью эталонных алгоритмов сигналы. Файл с полученными данными далее передается в блок анализатора COMTRADE файла на наличие пусков и срабатываний. Если эти дискретных сигналов имеются в файле, то события изменения данных сигналов передаются в интерфейс взаимодействия с БД для их дальнейшей записи в БД.

В случае анализа функции РЗА в устройствах РЗА COMTRADE файл устройства без каких-либо изменений передается в блок анализатора COMTRADE файла на наличие пусков и срабатываний.

Далее результаты работы анализатора функций РЗА поступают в интерфейс взаимодействия с БД.

*Модуль расчета ОМП.* Модуль расчета ОМП производит расчет с использованием значений токов и напряжений, записанных во время аварии в осциллограмму. Каналы тока и напряжения, по которым будет производиться

расчет, задаются и хранятся в конфигурации системы. Оценка расстояния до места повреждения осуществляется на основе анализа аварийных величин предполагаемой точки повреждения с использованием алгоритмической модели ЛЭП. Модуль расчета ОМП формирует и передает следующие данные: расстояние до места повреждения, дату, время, вид короткого замыкания (КЗ) (однофазное, междуфазное, трехфазное, двухфазное на землю), особую фазу, действующие значения токов и напряжений при КЗ и в предаварийном режиме, углы между токами и напряжениями всех фаз, значения нулевой, прямой и обратной последовательности токов и напряжений при КЗ.

*Модуль эталонного расчета.* Модуль эталонного расчета моделирует работу функций РЗА по эталонным алгоритмам. На основе данных из COMTRADE файла в модуле производится расчет всех сигналов и выходных реле, описанных в файле эталона. Далее выполняется симуляция функционально-логической схемы устройства, представленной в файле эталона. Результаты вычислений дополнительно записываются в осциллограмму, которая поступила на вход модуля, и затем она передается обратно в блок анализатора функций РЗА по эталонным алгоритмам.

*Анализатор COMTRADE файлов на наличие пусков и срабатываний.* Анализатор COMTRADE файла на наличие пусков и срабатываний служит для выявления событий, приведших к изменению дискретных сигналов. На вход модуля получают COMTRADE файл и сигналы, по которым необходимо произвести поиск такого события. Если искомое событие имело место, то в этом блоке формируются сведения об этом (дата и время изменения, новое значение сигнала). Затем полученные данные передаются в интерфейс взаимодействия с БД для их дальнейшей записи в БД.

*Интерфейс взаимодействия с БД.* Вся работа с БД осуществляется через интерфейс взаимодействия с БД. Данный модуль производит чтение из БД и запись в нее осциллограмм, результатов ОМП и событий изменения сигналов.

*Интерфейс взаимодействия с клиентами.* Модуль находится в режиме постоянного ожидания подключений клиентов. В случае успешного установления связи в нем обрабатываются запросы клиента на получение данных из конфигурации системы или БД, осуществляется чтение конфигурации системы или обращение к интерфейсу взаимодействия с БД.

Если в ходе анализа COMTRADE файлов к серверу были подключены клиенты, то для их оперативного уведомления об изменении данных полученные результаты анализа отображаются и в интерфейсе взаимодействия с БД, и в интерфейсе взаимодействия с клиентами.

**Отображение результатов работы системы диагностики.** Клиентская программа RPA Diagnostics выступает в качестве непосредственного интерфейса между пользователем и системой. Программа решает следующие задачи:

- отображает дерево объектов конфигурации системы диагностики;
- выводит протокол экспресс-анализа аварийного режима (рис. 3);
- предоставляет пользователю возможность редактирования шаблона протокола экспресс-анализа аварийного режима.



Протокол экспресс-анализа аварийного режима									
Общие данные									
Наименование ПС					Подстанция				
Наименование ВЛ					ЛЭП				
Дата и время повреждения					21 Август 2019 8:21:51,589				
Вид повреждения					Двухфазное на землю фаз А и В				
Тип события					аварийное				
Расстояние									
Приоритетный результат расчета, км					—				
Электрические величины при повреждении									
U1, кВ =		21,794		I1, кА =		0,016			
U2, кВ =		21,794		I2, кА =		0,008			
3I0, кВ =		130,758		3I0, кА =		0,024			
Iкз, сек =		—		Iкз, кА =		0,024			
Векторная диаграмма аварийного режима									
Ua, кВ =		65,380		∠		-42,0		Ia, кА = 0,024 ∠ 46,3	
Ub, кВ =		65,380		∠		-42,0		Ib, кА = 0,024 ∠ -73,6	
Uc, кВ =		0,002		∠		165,4		Ic, кА = 0,000 ∠ 137,2	
Векторная диаграмма доаварийного режима									
Ua, кВ =		0,001		∠		0,0		Ia, кА = 0,000 ∠ 47,5	
Ub, кВ =		0,001		∠		0,0		Ib, кА = 0,000 ∠ 103,9	
Uc, кВ =		0,002		∠		136,4		Ic, кА = 0,000 ∠ 89,1	
Результаты работы устройств РЗА и реализованных в них функций РЗА по ОМП:									
Комплект / Устройство / Функция		Пуск			Срабатывание				
		ОМП	Терминал РЗА	Оценка работы	ОМП	Терминал РЗА	Оценка работы		
Основной комплект		Нет	Есть	Излишне	Нет	Есть	Излишне		
Устройство РЗА-ТЗНП		Нет	Есть	Излишне	Нет	Есть	Излишне		
Устройство РЗА-ДЗ		Нет	Есть	Излишне	Нет	Нет	Излишне		
Результаты работы устройств РЗА и реализованных в них функций РЗА по эталонным алгоритмам:									
Комплект / Устройство / Функция		Пуск			Срабатывание				
		Эт. алгоритм	Терминал РЗА	Оценка работы	Эт. алгоритм	Терминал РЗА	Оценка работы		
Основной комплект		Нет	Есть	Излишне	Нет	Есть	Излишне		
Устройство РЗА-ТЗНП		Нет	Есть	Излишне	Нет	Есть	Излишне		
Устройство РЗА-ДЗ		—	Есть	—	—	Нет	—		

Рис. 3. Пример протокола экспресс-анализа аварийного режима

**Закключение.** В статье предложена структура программного комплекса, описаны и сгруппированы данные системы диагностики централизованной системы РЗА, приведена ее конфигурация, а также рассмотрены вопросы конфигурации РЗА. Описан алгоритм работы ПК диагностики централизованной системы РЗА, включая описание алгоритма работы всех модулей и интерфейсов. Приведены диаграмма потоков данных цифровой системы диагностики централизованной системы РЗА и пример работы клиентской части программы в виде протокола экспресс-анализа аварийного режима.

Программный комплекс находится в опытной эксплуатации и находится на этапе тестирования. После прохождения всех запланированных тестов планируется окончательное внедрение программного комплекса в энергосистему Оренбургской области.

### Литература

1. Булычев А.В., Васильев Д.С., Козлов В.Н., Силянов Д.Н. Релейная защита в распределительных сетях 110/35/10 кВ в условиях цифровой трансформации электроэнергетических систем // Релейная защита и автоматизация. 2019. № 1. С. 71–77.
2. Бурбело М.И., Мельничук С.М. Использование реле проводимости для выявления неполнофазных режимов в сетях 110-220 кВ // Вюник Вшницького полгтехшчного штитуу. 2015. № 2(119). С. 40–44.
3. Волошин А.А., Арцишевский Я.Л., Максимов Б.К. Вопросы создания централизованных РЗА подстанций // Релейщик. 2012. № 2. С. 32–33.
4. Жуков А.В. Вопросы централизации и децентрализации при создании систем управления в ЕЭС России: презентация к докладу // Rugrids-Electro. Российские сети. Новые возможности: международный электроэнергетический форум (Москва, 22 октября 2015 г.). URL: <https://www.slideshare.net/DigitalSubstation/ss-54426360>.

5. Моисеев Д.В., Галанина Н.А. Анализ существующих методик построения систем регистрации аварийных событий и диагностики работы устройств РЗА // Состояние и перспективы развития ИТ-образования: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конференции. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2019. С. 391-396.
6. Моисеев Д.В., Галанина Н.А. Разработка структурной схемы подсистемы регистрации и диагностики аварийных событий системы релейной защиты и автоматики // Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России: сб. материалов IV Всерос. студ. конф. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2018. С. 80–83.
7. Моисеев Д.В., Галанина Н.А. CIM-модель энергообъектов как инструмент интеграции централизованной системы диагностики устройств РЗА // Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем: материалы 13-й Всерос. науч.-техн. конф. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2019. С. 361–362.
8. Моисеев Д.В., Галанина Н.А., Иванова Н.Н. Разработка методики экспресс-анализа аварийных режимов электрической системы // Вестник Чувашского университета. 2019. № 3. С. 167–175.
9. Моисеев Д.В., Галанина Н.А., Иванова Н.Н. Экспресс-анализ и анализ аварийных режимов электрической системы на основе эталонных алгоритмов // Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности: материалы III Междунар. науч.-техн. конф. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2019. С. 273–279.
10. Рыбаков А.К., Жуков Д.А., Федеров О.А. Концепция системы анализа аварийных событий и оценки правильности работы устройств РЗА // Электроэнергия. Передача и распределение. 2018. № 6(51). С. 100–101.
11. Andreev A.N., Patrashkin E., Zheltov A. Centralized Relay Protection of Power Plants Using IEC-61850. In: Proc. of Int. Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), 2018, pp. 1–3.
12. Bo Zhou He, J.H., Dong X. Z., Counce B.R.J. Overcurrent Relay based Integrated Protection Scheme for Distribution Systems. In: Proc. of Int. Conf. on Power System Technology, 2006, pp. 1–6.
13. Golub G.M. Reliability control of failure-free operation of power supply system of railroad and its components by methods of intellectualization and informatization. *Metallurgical and mining industry*, 2017, no. 5, pp. 8–13.
14. Iskakov U., Breido J. Settings adaptation system for current protection relay. *Annals of DAAAM & Proceedings*, 2015, vol. 26, iss. 1, pp. 371–377.
15. Lizunov N., Misbakhov R. Sh., Bagautdinov I.Z. The centralized system of relay protection and automation for substations of medium voltage. In: Proc. of 2<sup>nd</sup> Int. Conf. on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, pp. 111–116, 2016.
16. Moiseev D.V., Galanina N.A., Ivanova N.N. Conducting an Express Analysis of Emergency Events of the Electrical System for Determining the Fault Location. In: 2020 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). Moscow, 2020, pp. 1–4. DOI: 10.1109/REEPE49198.2020.9059206.
17. Zayandehroodi H., Gorooh A.A., Azimizadeh H. Structure and Technology of the numerical Relay Protection in the power Systems. *Cumhuriyet Science Journal*, 2015, vol. 36, pp. 1–7.

---

**МОИСЕЕВ ДЕНИС ВЛАДИМИРОВИЧ** – аспирант кафедры математического и аппаратного обеспечения информационных систем, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (dnsmv@gmail.com).

**ГАЛАНИНА НАТАЛИЯ АНДРЕЕВНА** – доктор технических наук, профессор кафедры математического и аппаратного обеспечения информационных систем, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (galaninacheb@mail.ru).

**ИВАНОВА НАДЕЖДА НИКОЛАЕВНА** – кандидат технических наук, доцент кафедры математического и аппаратного обеспечения информационных систем, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (naadeezdaa@rambler.ru).

---

Denis V. MOISEEV, Nataliya A. GALANINA, Nadezhda N. IVANOVA

### ARCHITECTURE DESIGNING OF SOFTWARE FOR THE DIAGNOSIS OF A CENTRALIZED RELAY PROTECTION AND AUTOMATION SYSTEM

**Kew words:** digital centralized relay protection and automation (RPA) system, software for the diagnosis of a centralized RPA system, emergency rapid analysis, RPA device diagnostic system, digital substation.

Due to the current state of the development of modern information technologies and the emergence of new international standards IEC 61970 and IEC 61968, additional possibilities for solving problems of automation control of energy objects and creation of digital substation appeared. The digital substation is an electrical network with a control, protection and control system and is based on the transmission of information in digital format. The aim of the study is to design a software package for diagnosis of a RPA digital central system, which is one of the elements of a digital substation. In the article we developed the structure of the software complex, described and grouped the data of a centralized RPA diagnosis system, presented its configuration and also considered the RPA configuration. Recommendations are given on how to configure RPA functions based on analysis of their performance using damage location algorithms and reference algorithms. The algorithm of the digital diagnosis system operation of the centralized RPA system is described, and the flow diagram of the diagnosis digital system of the central RPA system is shown. A working example of the client part of the program in the form of an emergency mode rapid analysis protocol is given. The software complex is currently undergoing testing and is in pilot operation.

### References

1. Bulychev A.V., Vasil'ev D.S., Kozlov V.N., Silanov D.N. *Releinaya zashchita v raspredelitel'nykh setyakh 110/35/10 kV v usloviyakh tsifrovoy transformatsii elektroenergeticheskikh sistem* [Relay protection in distribution networks 110/35/10 kV in the conditions of digital transformation of electric power systems]. *Releinaya zashchita i avtomatizatsiya*, 2019, no. 1, pp. 71–77.
2. Burbelo M.I., Mel'nichuk S.M. *Ispol'zovanie rele provodimosti dlya vyyavleniya nepolnofaznykh rezhimov v setyakh 110–220 kV* [Use of the conductivity relay to detect phase conductor breakage in networks 110–220 kV]. *Visnik Vinnits'kogo politekhnichnogo institutu*, 2015, no. 2(119), pp. 40–44.
3. Voloshin A.A., Artsishevskii Ya.L., Maksimov B.K. *Voprosy sozdaniya tsentralizovannykh RZA podstantsii* [Issues of creating centralized relay protection and automation of substations]. *Releishchik*, 2012, no. 2, pp. 32–33.
4. Zhukov A.V. *Voprosy tsentralizatsii i detsentralizatsii pri sozdanii sistem upravleniya v EES Rossii: prezentatsiya k dokladu* [Issues of centralization and decentralization in the creation of management systems in the UES of Russia: presentation for the report]. In: *Rugrids-Electro. Rossiiskie seti. Novye vozmozhnosti: mezhdunarodnyi elektroenergeticheskii forum (Moskva, 22 oktyabrya 2015 g.)* [Rugrids-Electro. Russian networks. New Opportunities: International Electricity Forum (Moscow, October 22, 2015). Available at: <https://www.slideshare.net/DigitalSubstation/ss-544263600>.
5. Moiseev D.V., Galanina N.A. *Analiz sushchestvuyushchikh metodik postroeniya sistem registratsii avariinykh sobytii i diagnostiki raboty ustroystv RZA* [Analysis of the existing methods of constructing systems for registration of emergency events and diagnostics of operation of RPA devices]. In: *Sostoyanie i perspektivy razvitiya IT-obrazovaniya: sb. materialov Vseros. nauch.-prakt. konferentsii* [Proc. of Rus. Sci. Conf. «The state and prospects for IT education»]. Cheboksary, Chuvash university Publ., 2019, pp. 391–396.
6. Moiseev D.V., Galanina N.A. *Razrabotka strukturnoi skhemy podsistemy registratsii i diagnostiki avariinykh sobytii sistemy releinoi zashchity i avtomatiki* [Develop a structural scheme of the subsystem for registration and diagnosis of emergency events of the relay protection system and automation]. In: *Inzhenernye kadry – budushchee innovatsionnoi ekonomiki Rossii: sb. materialov IV Vseros. stud. konf.* [Proc. of 4<sup>th</sup> Rus. Sci. Conf. «Engineering personnel – the future of Russia's innovative economy»]. Ioshkar-Ola, 2018, pp. 80–83.
7. Moiseev D.V., Galanina N.A. *SIM-model' energoob'ektov kak instrument integratsii tsentralizovannoi sistemy diagnostiki ustroystv RZA* [The SIM model of energy objects as a tool to

integrate a centralized system of diagnostic devices]. In: *Dinamika nelineynykh diskretnykh elektrotekhnicheskikh i elektronnykh sistem: materialy 13-i Vseros. nauch.-tekhn. konf.* [Proc. of 13<sup>th</sup> Rus. Sci. Conf. «Dynamics of non-linear discrete electrical and electronic systems»]. Cheboksary, Chuvash university Publ., 2019, pp. 361–362.

8. Moiseev D.V., Galanina N.A., Ivanova N.N. *Razrabotka metodiki ekspress-analiza avariynykh rezhimov elektricheskoi sistemy* [Development of methods for express analysis of emergency conditions of electrical system]. *Vestnik Chuvashskogo universiteta*, 2019, no. 3, pp. 167–175.

9. Moiseev D.V., Galanina N.A., Ivanova N.N. *Ekspress-analiz i analiz avariynykh rezhimov elektricheskoi sistemy na osnove etalonnykh algoritmov* [Express analysis and analysis of emergency modes of the electrical system based on reference algorithms]. In: *Problemy i perspektivy razvitiya energetiki, elektrotekhniki i energoэффективности: materialy III Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* [Proc. of 3<sup>rd</sup> Int. Sci. Conf. «Problems and prospects for energy, electrical engineering and energy efficiency»]. Cheboksary, Chuvash University Publ., 2019, pp. 273–279.

10. Rybakov A.K., Zhukov D.A., Federov O.A. *Kontseptsiya sistemy analiza avariynykh sobytiy i otsenki pravil'nosti raboty ustroystv RZA* [The concept of the system of analysis of emergency events and assessment of the correctness of the relay protection system and automation devices]. *Elektroenergiya. Peredacha i raspredelenie*, 2018, no. 6(51), pp. 100–101.

11. Alndreev A.N., Patrashkin E., Zheltov A. Centralized Relay Protection of Power Plants Using IEC-61850. In: Proc. of Int. Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), 2018, pp. 1–3.

12. Bo Zhou He, J.H., Dong X. Z., Counce B.R.J. Overcurrent Relay based Integrated Protection Scheme for Distribution Systems. In: Proc. of Int. Conf. on Power System Technology, 2006, pp. 1–6.

13. Golub G.M. Reliability control of failure-free operation of power supply system of railroad and its components by methods of intellectualization and informatization. *Metallurgical and mining industry*, 2017, no. 5, pp. 8–13.

14. Iskakov U., Breido J. Settings adaptation system for current protection relay. *Annals of DAAAM & Proceedings*, 2015, vol. 26, iss. 1, pp. 371–377.

15. Lizunov N., Misbakhov R. Sh., Bagautdinov I.Z. The centralized system of relay protection and automation for substations of medium voltage. In: Proc. of 2<sup>nd</sup> Int. Conf. on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, pp. 111–116, 2016.

16. Moiseev D.V., Galanina N.A., Ivanova N.N. Conducting an Express Analysis of Emergency Events of the Electrical System for Determining the Fault Location. In: 2020 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). Moscow, 2020, pp. 1–4. DOI: 10.1109/REEPE49198.2020.9059206.

17. Zayandehroodi H., Goroooh A.A., Azimzadeh H. Structure and Technology of the numerical Relay Protection in the power Systems. *Cumhuriyet Science Journal*, 2015, vol. 36, pp. 1–7.

---

**DENIS V. MOISEEV** – Post-Graduate Student of Information Systems Math and Hardware Department, Chuvash State University, Russia, Cheboksary (dnsmsv@gmail.com).

**NATALIYA A. GALANINA** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Information Systems Math and Hardware Department, Chuvash State University, Russia, Cheboksary (galaninacheb@mail.ru).

**NADEZHDA N. IVANOVA** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Information Systems Math and Hardware Department, Chuvash State University, Russia, Cheboksary (naadeezdaa@rambler.ru).

---

**Формат цитирования:** Моисеев Д.В., Галанина Н.А., Иванова Н.Н. Проектирование архитектуры программного комплекса диагностики централизованной системы РЗА // Вестник Чувашского университета. – 2021. – № 1. – С. 99–110. DOI: 10.47026/1810-1909-2021-1-99-110.