

«Россети» приступают к масштабной программе цифровизации электросетевого комплекса. Вместе с тем электросетевое хозяйство, в особенности объекты распределительных компаний (РСК), многочисленно и разнообразно, а технические требования по его цифровизации недостаточно стандартизированы.

## «ШАШЕЧКИ ИЛИ ЕХАТЬ»: ВЫБИРАЕМ ЦПС ДЛЯ РСК

**Леонид Орлов**

Технический директор «ИНБРЭС»

Ключевое условие успешности внедрения новых технологий — их эффективность. Новые решения должны обеспечивать снижение полной стоимости владения по сравнению с традиционными и обеспечивать простоту эксплуатации и повышение функциональности, надежности и безопасности.

Различные сетевые компании и производители цифровых решений подходят к этой проблеме по-разному. Например, ФСК давно и активно внедряет цифровые технологии на подстанциях 220–750 кВ. В качестве следующего шага было принято решение о типизации проектных решений по вторичным системам с применением технологий ЦПС. В 2018 году были разработаны и утверждены корпоративный профиль ИЕС 61850 и типовые решения ФСК по вторичным системам для ЦПС трех вариантов архитектуры, отличающихся объемом применения технологий шины подстанции ИЕС 61850-8-1 и шины процесса ИЕС 61850-9-2 для систем РЗА и АСУ ТП. За счет применения типовых решений ФСК планирует сократить CAPEX и OPEX по строящимся и модернизируемым ПС.

Можно ли воспользоваться данным опытом на объектах РСК? Вопрос сложный. Для объектов 35–110 кВ распределительного сетевого комплекса применение архитектур ЦПС, разработанных для ПС 220–750 кВ, представляется неэффективным. Здесь нужны

упрощенные и недорогие решения, оптимизированные для массового применения на ПС данного класса.

В существующих нормативных документах «Россетей» сделаны первые попытки классификации объектов и типизации технических решений. Ведется ряд НИР и ОКР по данной тематике, но окончательные требования пока не сформированы. Компания «ИНБРЭС» провела собственные исследования с целью поиска наиболее эффективных цифровых решений для объектов РСК.

РСК отличается от магистральных сетей огромным количеством электросетевых объектов и сравнительно низким исходным уровнем их автоматизации. Очевидно, что быстрая и полная цифровизация всех существующих объектов РСК технически неоправдана, экономически нецелесообразна и физически нереализуема. Поэтому необходимо определить критерии выбора оптимального решения для каждой категории объектов или распределительных устройств. Объекты и электроустановки предлагается классифицировать по типам (центры питания, распределительные сети), классам напряжения, исполнению распределительных устройств (ОРУ, КРУЭ, ЗРУ).

При анализе вариантов цифровых решений считаем необходимым рассмотреть не только классические варианты построения ЦПС с использованием ИЕС 61850, но и ныне существующие и внедряемые варианты автоматизации подстанций и распределительных сетей, для создания

целостной и непротиворечивой дорожной карты поэтапной модернизации существующих объектов. Поэтому в качестве базового уровня цифровизации («нулевой» архитектуры ЦПС) можно принять создание систем автоматизации ПС (САПС). Варианты исполнения САПС:

- Простая телемеханика (ТМ) в объеме ТС, ТИ (опционально), ТУ (опционально).
- Оперативная блокировка разъединителей (ОБР).
- Система мониторинга РЗА (СМ РЗА).
- Система обнаружения повреждений (СОП), включающая в себя средства селективного обнаружения КЗ, ОЗЗ, определения места повреждения (ОМП) на ВЛ и КЛ.

- Система автоматического восстановления сети (САВС), обеспечивающая выделение поврежденного участка воздушной или кабельной сети.
- ССПИ или облегченные АСУ ТП, объединяющие все или некоторые из вышеуказанных функциональных подсистем в едином ПТК.
- Полнофункциональные АСУ ТП с использованием ИЕС 61850-8-1.

Максимальная конфигурация САПС в целом аналогична минимальной конфигурации ЦПС (архитектуре №1 по классификации ФСК).

Классические (общепринятые) архитектуры ЦПС можно описать по классификации ФСК. Первым этапом развития САПС до ЦПС является установка в ОРУ шкафов полевых преобразователей дискретных и аналоговых сигналов (ПДС), предназначен-

ных для оцифровки сигналов ТС, ТУ, ОБ разъединителей и заземляющих ножей. Данное решение эффективно только для ОРУ. В случае применения КРУЭ или ЗРУ применение ПДС не очень оправдано; более целесообразно размещение КП в шкафах или ячейках непосредственно в данном помещении.

Основным отличием архитектуры №2 является максимальное использование всех возможностей ИЕС 61850-8-1 (MMS, GOOSE) для нужд АСУ ТП и РЗА. Данный этап позволяет полностью исключить контрольные кабели для обмена дискретными сигналами, что поможет существенно снизить CAPEX и OPEX. Вместе с тем применение ПДС и GOOSE для РЗА сопряжено с определенными техническими рисками и организационными затруднениями.

Использование архитектуры №2 весьма эффективно для ЗРУ 6–35 кВ, если при этом применить концепцию цифрового КРУ, включающую в себя:

- Многофункциональные устройства (МФУ) защиты и управления.
- Обмен информацией по ИЕС 61850-8-1 (MMS и GOOSE).

• Современные ячейки с моторными приводами всех коммутационных аппаратов и расширенными средствами самодиагностики.

Архитектура №3 предусматривает применение шины процесса ИЕС 61850-9-2 для передачи мгновенных значений тока и напряжения. При рассмотрении ее применения на объектах РСК следует принять во внимание высокую стоимость первичных цифровых датчиков тока и напряжения (ЦДТ, ЦДН) в сравнении с электромагнитными ТТ и ТН, а также высокую стоимость оборудования для организации шины процесса, вызванную повышенными требованиями к ее пропускной способности, быстродействию, надежности, точной привязке к астрономическому времени. Таким образом, для большинства типовых схем подстанций 35–110 кВ при их максимальной цифровизации на базе архитектуры №3 прогнозируется существенное увеличение CAPEX в сравнении с ЦПС архитектур №1 и №2 или с классическими САПС.

Некоторое снижение OPEX, достигаемое за счет повышения уровня автоматизации ПС, недостаточно для

признания таких решений экономически эффективными. Исследовав различные варианты построения ЦПС 35–110 кВ с шиной процесса, мы пришли к следующим выводам:

- Для большинства ПС 110 кВ и всех ПС 35 кВ стандартная архитектура №3 (шина процесса с применением ЦДТ/ЦДН или ПАС без изменения состава ИЭУ) экономически неэффективна.
- Использование шины процесса предоставляет возможности для дальнейшей оптимизации архитектуры ЦПС и поиска более надежных и эффективных вариантов построения РЗА и АСУ ТП.

Под условным обозначением «Архитектура №4+» рассматриваются различные варианты оптимизации структуры ЦПС с шиной процесса:

- Сокращение общего количества цифровых устройств за счет применения расширенных многофункциональных устройств (МФУ+), объединяющих в себе функции защиты, управления, оцифровки информации (ПАС/ПДС).
- Частичная централизация функций защиты и автоматики на базе цифровых ИЭУ и МФУ+.

Таблица 1. Матрица выбора решений САПС и ЦПС для РСК

Архитектура (условно)	Технология	РУ 35-220кВ центров питания						Распред.сети 6-20кВ		
		ОРУ-220	КРУЭ-220	ОРУ-110 (150)	КРУЭ-110 (150)	ОРУ-35	ЗРУ 6-35	РП 6-20	ТП 6-20 (с КЛ)	ТП 6-20 (с ВЛ)
4+. Оптимизация архитектуры ЦПС с применением ИЕС 61850-8-1 и ИЕС 61850-9-2 для АСУТП и РЗА	Гибкая функциональная архитектура	+	+	+	+	+	+			
	Адаптивная РЗА	+	+	+	+	+	+			
	Централизованная РЗА	*	*	+	+	+	*			
	МФУ+ (РЗА+КП+МУ)	+	+	+	+	+	+			
3. ЦПС с применением ИЕС 61850-8-1 и ИЕС 61850-9-2 для АСУТП и РЗА	ЦИТ с ИЕС 61850-9-2	+	*	*	*	*				
	AMU с ИЕС 61850-9-2	+	*	*	*	*		*		
2. ЦПС с применением ИЕС 61850-8-1 для АСУТП и РЗА	МФУ (АУВ+КП ВН, РЗА+КП СН)	+	+	+	+	+	+	+		
	Полевое УСО (ПДС) для АСУТП и РЗА	+		+		+				
1. ЦПС с применением ИЕС 61850-8-1 для АСУТП	Полевой контроллер (КП в РУ)		+		+		+	+		
	Полевое УСО (ПДС) для АСУТП	+		+		+				
	АСУТП с ИЕС 61850-8-1 (MMS, GOOSE)	+	+	+	+	+	+	+		
0. САПС	ССПИ, легкие АСУТП	*	*	*	*	+	+	+	+	+
	САВС						+	+	+	+
	СОП						+	+	+	+
	СМ РЗА	+	+	+	+	+	+	+		
	ОБР	+	+	+	+	+				
	ТМ	+	+	+	+		+			+

- Применение адаптивных схем резервирования РЗА.
- Применение гибкой функциональной архитектуры вторичных систем.

Данные варианты архитектур позволяют сократить затраты и получить дополнительные эффекты от цифровизации за счет реализации новых вариантов распределения функций защиты и управления между устройствами ЦПС.

Предлагаемая матрица выбора отражает видение компании «ИНБРЭС» по определению наиболее эффективного цифрового решения для различных категорий объектов РСК. Она может быть быстро адаптирована под нужды конкретной сетевой компании и использована как инструмент для быстрого принятия решения по цифровизации любого объекта.

Таким образом, для проектов цифровых ПС и РЭС в РСК рекомендуются к применению следующие варианты цифровизации:

- Для серийного применения на строящихся и комплексно реконструируемых ПС 35–110 кВ — ЦПС архитектуры №2, в том числе цифровые КРУ на базе МФУ.
- Для опытного внедрения на ПС 35–110 кВ — ЦПС архитектуры №4+.
- Для модернизации существующих ПС и распределительных сетей, в том числе в рамках проектов цифровых РЭС — ЦПС архитектуры №1 или САПС.

Эти решения позволяют получить цифровые ПС, по капитальным затратам (CAPEX) не уступающие традиционным, а по эксплуатационным затратам (OPEX) — с ожидаемой экономией до 20–30%. Кроме того, новые архитектурные решения позволяют улучшить селективность работы РЗА, повысить надежность и безопасность управления энергообъектом.

Во второй части статьи мы хотим поделиться опытом реализации эффективных цифровых решений на объектах электросетевого хозяйства и нефтегазовой отрасли.



Рис. 1. Шкаф контроллеров присоединений «ИНБРЭС-ШКП»

«ИНБРЭС» разработала и подготовила к серийному производству линейку типовых шкафов АСУ ТП. Образцы шкафов полевых преобразователей дискретных сигналов «ИНБРЭС-ШПДС» и контроллеров присоединений «ИНБРЭС-ШКП» были предоставлены специалистам ФСК в ходе соревнований персонала АСУ ТП, проводившихся на базе учебного центра «Белый Раст». По результатам обучения, практической работы и выполнения заданий этапа, шкафы «ИНБРЭС» получили высокую оценку специалистов ФСК. Данные ти-



Рис. 2. Шкаф «ИНБРЭС-ШПДС» на ОРУ ПС 110/35/10 кВ («МРСК Сибири»)

повые решения готовы к серийному внедрению на объектах магистральных электрических сетей.

Один из вариантов архитектуры №4+ был разработан в рамках НИ-ОКР для «Тюменьэнерго». Для ОРУ 35 кВ, как правило, применяется только один комплект защит. При отказе данного устройства теряются все функции защиты и автоматики соответствующего присоединения, а установка второго комплекта защит экономически нецелесообразна. Для повышения надежности работы РЗА без существенного увеличения затрат может быть применена инновационная архитектура ЦПС:

- МФУ выполняют функции РЗА, оцифровку информации и ее передачу в шину процесса IEC 61850-9-2.
- Устанавливается централизованное цифровое устройство резервных защит (ЦЦЗ) с функциями ДЗШ, РАС, ОМП, селективной защиты от ОЗЗ (опционально).
- При отказе терминала РЗА одного присоединения ЦЦЗ программно восстанавливает его ток на основании данных, получаемых по шине процесса от других МФУ, и автоматически принимает на себя выполнение функций РЗА данного присоединения.

Такое решение позволяет существенно повысить надежность релейной защиты при небольших затратах за счет оптимального применения цифровых технологий. Указанный комплекс цифровых защит был разработан и уже успешно прошел заводские испытания на полигоне «НПП «Бреслер»».

Для существующих ПС 35–110 кВ, где не планируется комплексная реконструкция, рекомендуется создание САПС с поддержкой IEC 61850-8-1, что обеспечит возможность ее развития при дальнейшей модернизации ПС. Архитектура системы может быть централизованной или распределенной. Также возможна поставка САПС в нетиповых (комбинированных) конфигурациях.

Пример внедрения САПС на ПС 110/35/10 кВ («МРСК Сибири»):

- ОБР+ТМ распределенной структуры.
  - Три шкафа, в том числе два ШПДС, установленные в ОРУ 110 кВ и ОРУ 35 кВ.
  - Сбор ТС положения всех коммутационных аппаратов.
  - Горизонтальные связи между ПДС и КП по IEC 61850-8-1 GOOSE (физическая среда передачи – ВОЛС).
  - Оперативная блокировка разъединителей.
  - Местная визуализация.
  - Интеграция с комплексом ТМ.
- Пример внедрения САПС ПС 35/6 кВ («МРСК Центра и Приволжья»):
- ТМ централизованной структуры.
  - Один компактный навесной шкаф.
  - Реализация ТС, ТИ, ТУ.
  - Подключение цифровых измерительных преобразователей по IEC 61850-8-1 MMS.
  - Подключение МП РЗА по Modbus.
  - Местное управление.

Для строящихся или реконструируемых ПС и РУ 6–35 кВ в закрытом исполнении оптимальным решением является:

- Применение МФУ с функциями защиты и управления.
- Использование протокола стандарта IEC 61850-8-1 (MMS, GOOSE);
- Реализация цифрового КРУ с минимизацией объема контрольных кабелей между ячейками и помещениями.
- Распределенная цифровая система селективной защиты от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) с определением поврежденного фидера (ОПФ).
- Компактный ПТК АСУ ТП с функциями ТМ, оперативной блокировки, безопасного дистанционного и местного управления оборудованием, интеграции МП РЗА, сбора и хранения информации.

Пример внедрения АСУ ТП и РЗА для ПС 35/10 кВ («Ленэнерго»):

- Комбинированная архитектура САПС.
- Устройства МП РЗА, в том числе терминал ОПФ, с поддержкой IEC 61850-8-1 и интеграцией в АСУ ТП.
- Цифровые измерительные приборы.



Рис. 3. Шкаф «ИНБРЭС-ШТМ» для ПС 35/6 кВ («МРСК Центра и Приволжья»)

- Один многофункциональный шкаф сбора информации, местного управления и оперативной блокировки на базе контроллера «ИНБРЭС-КПП».
- Один шкаф телемеханики с резервированными контроллерами ТМ.
- ТС, ТИ, ТУ, ОБР, интеграция РЗА и ОПФ, местное управление.

В рамках направления цифровизации распределительных сетей мы разработали и реализуем концепцию цифрового РЭС (ЦРЭС). Концепция включает оптимальные технические решения и инновационную методику их комплексной реализации, подразумевающую:

- Сбалансированное применение различных технологий и мероприятий.
- Типовую модель выбора оптимального уровня автоматизации объектов распределительной сети (ВЛ, КЛ, РП, ТП).
- Детальную проработку и технико-экономическое обоснование вариантов оптимизации и автоматизации сети с учетом различных факторов (схемы и топологии сети, географического местоположения ее элементов, архивных данных по аварийности, технического состояния).
- Применение отечественного оборудования и ПО.

Состав комплекса ЦРЭС:

- Современная SCADA-система.
- Расчетно-аналитическое ПО.
- Индикаторы короткого замыкания для ВЛ и КЛ.
- Реклоузеры и другие телеуправляемые коммутационные аппараты.
- САПС и САВС для центров питания, РП, ТП.
- Умные счетчики электроэнергии.
- Селективная защита от ОЗЗ.
- Устройства компенсации емкостных токов.

Одним из ключевых элементов цифрового РЭС являются программно-аппаратные средства системы определения повреждений (СОП, ОМП) и системы автоматического восстановления сети (САВС), обеспечивающие выделение поврежденного участка воздушной или кабельной сети, а также аналитическое ПО для моделирования вариантов схем распределительной сети и расчетов показателей надежности и эффективности. Данные программно-аппаратные средства разработаны и производятся компаниями «ИНБРЭС» и «НПП «Бреслер»» и находят свое применение в проектах цифровых РЭС для различных сетевых компаний.

В настоящее время выполнены и находятся на различных этапах реализации проектные и аналитические работы по 6 проектам ЦРЭС в различных ДЗО «Россетей».

Цифровизация энергетики — инструмент достижения качественно нового уровня в области надежности, доступности, эффективности и клиентоориентированности. Применение оптимальных технических решений отечественного производства позволит успешно решить эту задачу ●

ООО «ИНБРЭС»

Тел./факс:  
(8352) 45-94-88, 45-95-96  
info@inbres.ru  
www.inbres.ru