

Авторы:

Клементьев А.В.,

Прокопьев В.В.,

ООО НПП «ЭКРА»,

г. Чебоксары, Россия.

## ОПЫТ ИНТЕГРАЦИИ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ НА ПС 500 кВ «УСТЬ-КУТ» В ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС (ПТК) EVICON

Аннотация: в статье рассмотрены вопросы построения современной АСУ ТП электрической подстанции с использованием новых протоколов передачи данных и технологий резервирования локальной вычислительной сети. Проанализированы существующие варианты интеграции устройств, протоколы передачи данных, способы синхронизации времени и резервирования сети. В качестве примера взята АСУ ТП подстанции 500 кВ «Усть-Кут».

Ключевые слова: АСУ ТП электрических подстанций, МЭК 61850, интеграция оборудования в АСУ ТП, локальные вычислительные сети, PRP (Parallel Redundancy Protocol).

На ПС 500 кВ «Усть-Кут» специалистами НПП «ЭКРА» выполнен полный комплекс работ: проектирование, поставка оборудования АСУ ТП и РЗА, шеф-монтажные и пусконаладочные работы, сдача в опытную и промышленную эксплуатацию АСУ ТП на базе ПТК EVICON. Все работы производились в очень сжатые сроки.

### Общая структура АСУ ТП

Архитектурно АСУ ТП на подстанции предусматривает наличие 3-х уровней иерархии (нижний, средний и верхний):

- **Нижний (полевой) уровень** – устройства, которые непосредственно связаны с объектом управления и обеспечивают сбор информации и вы-

дачу команд управления, реализацию алгоритмов логики оперативной блокировки разъединителей (ОБР) – контроллеры присоединения, терминалы РЗА, ПА, контроллеры ЩПТ и ЩСН и т.п.

- **Средний уровень** – устройства, обеспечивающие создание инфраструктуры для информационного взаимодействия между устройствами нижнего уровня АСУ ТП и устройствами смежных автономных подсистем – РЗА, МКПА, ОМП, РАС, системы мониторинга технологического оборудования и т.п., а также передачу данных в удаленные диспетчерские центры и центры управления сетями без дополнительной обработки по стандартным протоколам МЭК 60870-5-101/104. Эти задачи выполняют управляемые и неуправляемые коммутаторы, межсетевые экраны, коммуникационные серверы.

- **Верхний уровень** – устройства, выполняющие задачи представления, обработки, хранения и анализа информации, информационного обмена с внешними системами, обеспечивающие сервисные функции конфигуриро-

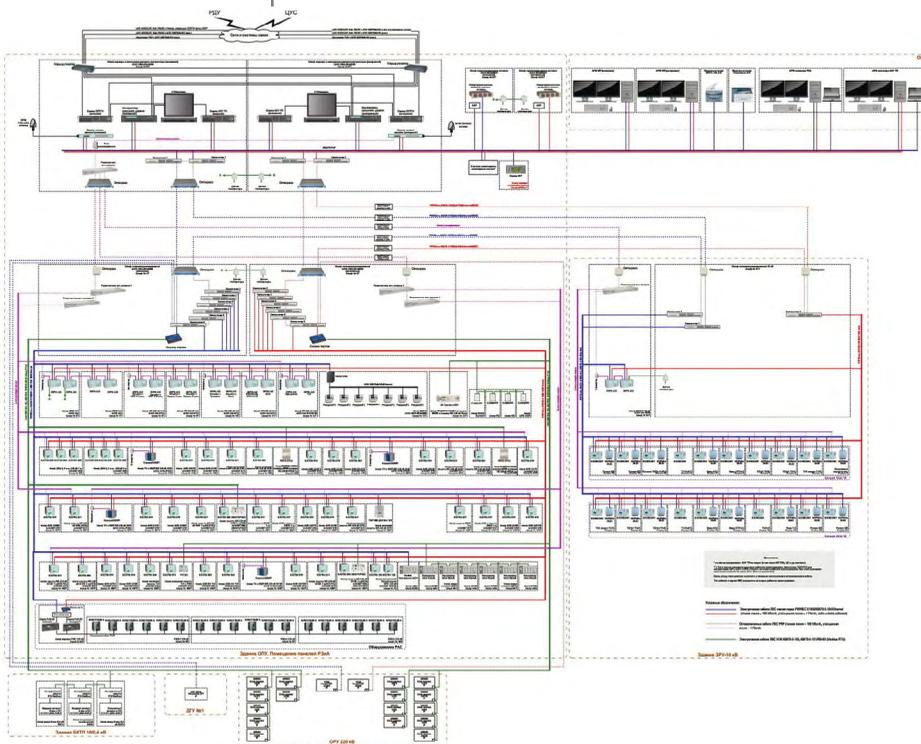
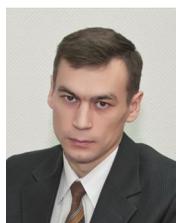


Рис. 1. Структурная схема АСУ ТП ПС 500 кВ «Усть-Кут»



**Клементьев  
Андрей Владимирович**

Дата рождения: 26.09.1973 г.  
Окончил в 1997 г.  
ЧГУ им. И.Н. Ульянова,  
факультет «Информатика и  
вычислительная техника».  
После окончания ЧГУ  
работал в сфере разработки  
программного обеспечения.  
С 2009 г. работает  
в ООО НПП «ЭКРА» и  
занимается разработкой и  
настройкой SCADA-систем  
АСУ ТП электрических  
подстанций.  
С 2016 г. является  
руководителем группы  
SCADA-систем АСУ ТП.



**Прокопьев  
Вадим Валентинович**

Дата рождения: 29.04.1981 г.  
Окончил в 2004 г.  
ЧГУ им. И.Н. Ульянова  
по специальности магистр  
техники и технологии.  
Руководитель сектора  
инжиниринга АСУ ТП  
ООО НПП «ЭКРА».

*Таблица 1. Интерфейсы и протоколы интегрируемых устройств*

№ п/п	Устройства	Производитель	Интерфейс		Протокол передачи данных				
			Ether-net*	RS-485	МЭК 61850	МЭК 60870-5-104	МЭК 60870-5-101	Modbus RTU	SNMP
1	КП ЭКРА 243	ЭКРА	XX		X				
2	РЗА БЭ2704, БЭ2502	ЭКРА	XX		X				
3	РЗА TOP 300	Релематика	XX		X				
4	ПА ЭКРА 22X	ЭКРА	XX		X				
5	Контроллер ЩСН DevLink-P200	ЭнергоКруг	X			X			
6	Контроллер ЩПТ МКА RIDUS	ЭлектроКонцепт		X				X	
7	ПКЭ Ресурс-UF2	Энерго техника	X		X				
8	ЦИП МИП-02	РТСофт	X			X			
9	Сириус-2-ОМП	РАДИУС Автоматика	XX		X				
10	УПАСК АКА «Кедр»	Уралэнерго сервис		X			X		
11	УПАСК АК «Тритон»	Уралэнерго сервис		X			X		
12	УПАСК ПКУ СР24	Юнител Инжиниринг		X			X		
13	УПАСК АВАНТ-РЗСК	Прософт-Системы		X			X		
14	Автоматика РПН	Мирономика		X				X	
15	РАС «Черный ящик»	ГОСАН	X			X			
16	Мониторинг выключателей АВМ-ВК	АВМ-Энерго		X				X	
17	Мониторинг выключателей КСДВ	УЭТМ	X			X			
18	Серверы АСУ ТП	ЭКРА	XX		X				
19	Серверы ТМ	ЭКРА	XX		X				
20	Байпас, АВР в ШГП	ЭКРА	X						X
21	Коммутаторы RSG2300	Siemens	XX						X

\* X – 1 Ethernet-порт, XX – 2 Ethernet-порта.

вания и обслуживания системы – резервированные серверы АСУ ТП и ТМ, серверы ССПТИ и АРМы оперативного и обслуживающего персонала.

Структурная схема АСУ ТП ПС 500 кВ «Усть-Кут» представлена на рис. 1.

Резервирование связи между устройствами достигается за счет использования 2-х Ethernet-интерфейсов и использования протокола резервирования PRP (Parallel Redundancy Protocol). У большинства устройств имеется 2 Ethernet-интерфейса (см. табл. 1). Отсутствие 2-го Ethernet-интерфейса или соединение устройства по последовательной линии RS-485 при обрыве/вы-

воде из работы коммутатора или преобразователя интерфейсов влечет за собой необходимость ручной коммутации линий.

**Интеграция МП-устройств**

При наладке ПТК EVICON на ПС выполнены работы по интеграции МП-устройств различных производителей по различным интерфейсам и протоколам передачи данных.

Из табл. 1 видно, что на ПС 500 кВ «Усть-Кут» используется 5 различных протоколов связи, однако большая часть устройств работает по стандарту МЭК 61850. Поэтому основное вни-

мание уделялось работе именно этого протокола.

Для всех устройств, входящих в комплекс, проводилась проверка правильности работы следующих основных функций АСУ ТП:

1. Прием и обработка дискретных сигналов;
2. Прием и обработка аналоговых сигналов;
3. Управление коммутационными аппаратами;
4. Логика алгоритмов оперативной блокировки разъединителей;
5. Считывание файлов осциллограмм;
6. Синхронизация времени.

При создании системы, содержащей большое количество разнородных устройств, неизбежно возникновение сложностей, связанных с особенностями реализации стандартных протоколов у каждого конкретного производителя. Поэтому для сокращения сроков проведения ПНР часть оборудования других производителей («Релематика», «РАДИУС Автоматика») была испытана на полигоне. Терминалы TOP 300 пр-ва «Релематика» и Сириус-2-ОМП пр-ва «РАДИУС Автоматика» тестировались удаленно через Интернет по VPN-каналу. Для устройств, работающих по стандарту МЭК 61850, отдельно проверялась возможность получения данных о конфигурации как из ICD-файла устройства, так и путем непосредственного считывания конфигурации по протоколу MMS. Это тестирование показало, что возможность импорта конфигурации из устройства в любом стандартном формате (ICD, CID, IID) позволяет значительно сократить время, необходимое на их интеграцию и наладку непосредственно на подстанции.

Сокращение сроков инжиниринга достигнуто за счет того, что для большинства присоединений на этапе проектирования было разработано типовое исполнение шкафа контроллера присоединения ЭКРА 243. Подключение контрольных кабелей к клеммным блокам для всех контроллеров присоединений проектировалось в опреде-

лённом порядке и было типизировано. Однотипность позволила значительно сократить сроки создания конфигурации контроллеров присоединений и СКАДА-системы за счет возможности копирования конфигураций. Нужно отметить, что в СКАДА-системе возможность копирования доведена до совершенства – добавить 2-ю однотипную конфигурацию можно буквально в несколько кликов мышью и заменой названий.

В то же время некорректность реализации модели устройства разработчиками, отказ от использования стандартных логических блоков и по-

всеместное использование блоков GGIO приводит к увеличению сроков конфигурирования СКАДА-системы. Кстати говоря, при обсуждении НИОКР ФСК ЕЭС «Разработка электронного каталога типовых проектных решений для проектирования и конфигурирования оборудования системы защиты, управления ПС, включая решения по цифровым ПС с применением наилучших доступных технологий» было зафиксировано, что в очередном этапе НИОКР все сигналы терминалов РЗА, АСУ ТП планируется распределить по логическим узлам МЭК 61850 и внести в стандарт ФСК ЕЭС.

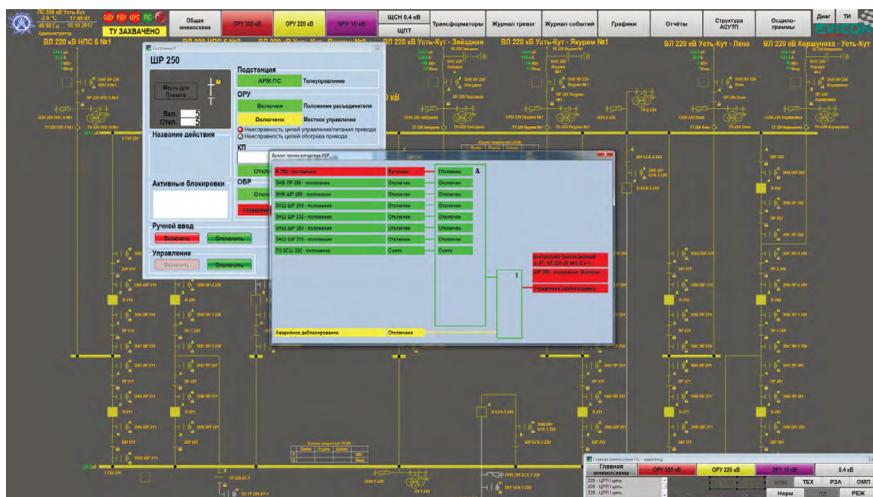


Рис. 2. Мнемокадр отображения алгоритма логики ОБР

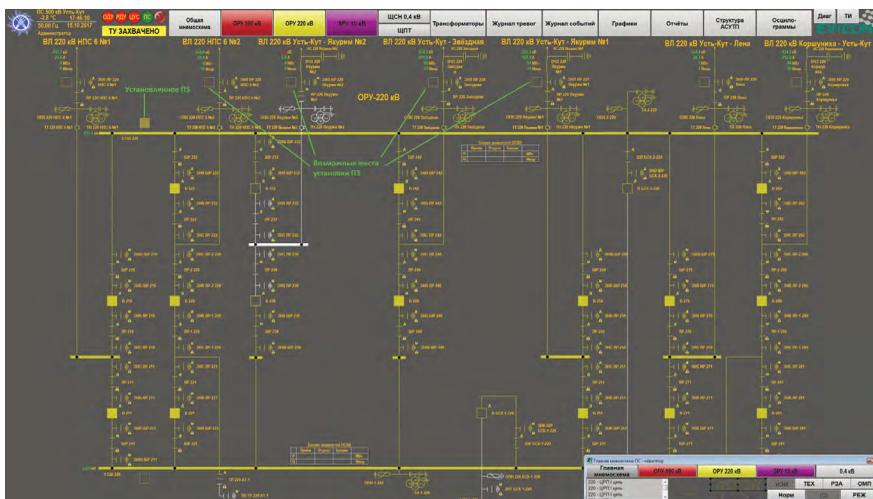


Рис. 3. Мнемокадры установки ПЗ



Таблица 2. Узлы пуска и останова осциллографа

Производитель	Адрес	Название	Из 0 в 1	Из 1 в 0	Место хранения
РЗА «ЭКРА»	RDRE1/RcdMade	Пуск осциллографа	Останов записи	Пуск записи	/COMTRADE/
РЗА «Релематика»	RDRE1/RcdStr	Пуск осциллографа	Пуск записи	Останов записи	/COMTRADE/
РЗА «Релематика»	RDRE1/RcdMade	Останов осциллографа	Останов записи	Пуск записи	/COMTRADE/
ОМП «РАДИУС Автоматика»	RDRE1/RcdStr	Пуск осциллографа	Пуск записи (импульс)		/COMTRADE/
ОМП «РАДИУС Автоматика»	RDRE1/RcdMade	Останов осциллографа	Останов записи (импульс)		/COMTRADE/
РАС «ГОСАН»	RDRE1/RcdMade	Пуск осциллографа	Пуск записи	Останов записи	/COMTRADE/

Таблица 3. Типы и протоколы синхронизации времени

№ п/п	Устройства	Производитель	Интерфейс		Протокол синхронизации			
			Ethernet	RS-485	SNTP	PPS	МЭК 60870-5-104	МЭК 60870-5-101
1	КП ЭКРА 243	ЭКРА	X		X	X		
2	РЗА БЭ2704, БЭ2502	ЭКРА	X		X	X		
3	РЗА ТОР 300	Релематика	X		X	X		
4	ПА ЭКРА 22Х	ЭКРА	X		X	X		
5	Контроллер ЩСН DevLink-P200	ЭнергоКруг	X		X			
6	Контроллер ЩПТ МКА RIDUS	ЭлектроКонцепт		X				
7	ПКЭ Ресурс-UF2	Энерготехника	X		X			
8	ЦИП МИП-02	РТСофт	X		X			
9	Сириус-2-ОМП	РАДИУС Автоматика	X		X	X		
10	УПАСК АКА «Кедр»	УРАЛЭНЕРГОСЕРВИС		X				X
11	УПАСК АК «Тритон»	УРАЛЭНЕРГОСЕРВИС		X				X
12	УПАСК ПКУ СР24	Юнител Инжиниринг		X				X
13	УПАСК АВАНТ-РЗСК	Прософт-Системы		X				X
14	Автоматика РПН	Мирономика		X				
15	РАС «Черный ящик»	ГОСАН	X		X			
16	Мониторинг выключателей АВМ-ВК	АВМ-Энерго		X				
17	Мониторинг выключателей КСДВ	УЭТМ	X		X			
18	Серверы АСУ ТП	ЭКРА	X		X			
19	Серверы ТМ	ЭКРА	X		X			
20	Байпас, АВР в ШГП	ЭКРА	X		X			
21	Коммутаторы RSG2300	Siemens	X		X			

Другая задача, которую приходится решать вручную – это определение способа получения данных от интегрируемого устройства. Автоматизировать процесс определения способа получения данных от устройства без вмешательства человека – сложно. На данной подстанции (как, впрочем, и на большинстве других) задачи АСУ ТП часто отодвигались на второй план, так как основная задача состояла в том, чтобы запустить в работу релейную защиту и противоаварийную автоматику, а настройка функций передачи сигналов в АСУ ТП отодвигалась на потом. В результате большое количество сигналов поступало в АСУ ТП по циклическому опросу, что сильно нагружало как само интегрируемое устройство, так и СКАДА-систему. Для снижения такой нагрузки используется механизм наборов данных и отчетов, и задача наладчиков АСУ ТП состояла в том, чтобы проконтролировать заполнение наборов данных сигналами и создание необходимых буферизированных и небуферизированных отчетов наладчиками РЗА и ПА. Наличие же дружелюбного ПО CFG61850 из пакета EKRASMS позволило наладчикам АСУ ТП настраивать наборы данных и отчеты терминалов РЗА производства ЭКРА без участия наладчиков РЗА, что сильно ускорило время наладки.

Вообще, наличие устройств с Ethernet-интерфейсом существенно сократило время наладки АСУ ТП в целом. Ведь наладка устройства разделяется на 2 этапа: установление устойчивой связи и получение необходимых сигналов. Наличие установленного соединения с устройствами с Ethernet-интерфейсом легко проверяется прикладными программами и не занимает много времени, так что на практике интеграция таких устройств означает только настройку получения необходимых сигналов. Для устройств, подключаемых по последовательным интерфейсам, этап установки соединения с устройством более длительный и сложный ввиду наличия большого количества параметров связи, которые необходимо согласовать при настройке.

Таблица 4. Интерфейсы и поддержка протокола PRP

№ п/п	Устройства	Производитель	Интерфейс			Поддержка PRP
			Ethernet	Дублированный Ethernet	RS-485	
1	КП ЭКРА 243	ЭКРА	X	X		X
2	РЗА БЭ2704, БЭ2502	ЭКРА	X	X		X
3	РЗА TOP 300	Релематика	X	X		
4	ПА ЭКРА 22X	ЭКРА	X	X		X
5	Контроллер ЩСН DevLink-P200	ЭнергоКруг	X			
6	Контроллер ЩПТ МКА RIDUS	ЭлектроКонцепт			X	
7	ПКЭ Ресурс-UF2	Энерготехника	X			
8	ЦИП МИП-02	РТСофт	X			
9	Сириус-2-ОМП	РАДИУС Автоматика	X	X		
10	УПАСК АКА «Кедр»	УРАЛЭНЕРГОСЕРВИС			X	
11	УПАСК АК «Тритон»	УРАЛЭНЕРГОСЕРВИС			X	
12	УПАСК ПКУ СР24	Юнител Инжиниринг			X	
13	УПАСК АВАНТ-РЗСК	Прософт-Системы			X	
14	Автоматика РПН	Мирономика			X	
15	РАС «Черный ящик»	ГОСАН	X			
16	Мониторинг выключателей АВМ-ВК	АВМ-Энерго			X	
17	Мониторинг выключателей КСДВ	УЭТМ	X			
18	Серверы АСУ ТП	ЭКРА	X	X		X
19	Серверы ТМ	ЭКРА	X	X		X
20	Байпас, АВР в ШГП	ЭКРА	X			
21	Коммутаторы RSG2300	Siemens	X	X		X

Согласно требованиям ПАО «ФСК ЕЭС», функция ОБР в АСУ ТП реализована в контроллерах присоединения ЭКРА 243 посредством обмена GOOSE-сообщениями. Помимо сокращения «медных» линий связи преимуществом GOOSE-сообщений является возможность самодиагностики. Для этого на контроллерах присоединения, которые получают GOOSE-сообщения (подписчиках), была дополнительно реа-

лизована встроенная логика, позволяющая диагностировать отсутствие GOOSE-сообщений в течение удвоенного времени передачи GOOSE-сообщения. Событие отсутствия GOOSE-сообщения выводилось как на светодиоды лицевой панели контроллера присоединения, так и журнал событий СКАДА-системы.

Также в контроллерах присоединения реализована возможность установки переносных заземлений (ПЗ),

которые участвуют в алгоритме логики ОБР (рис. 2). Установка ПЗ осуществляется с мнемокадров СКАДА-системы в следующих местах: на линиях, на шинах, на выключателях, на трансформаторах или реакторах (рис. 3). На выключателях и трансформаторах переносные заземления возможно устанавливать, если с этой стороны по схеме присутствует заземляющий нож.

### Скачивание файлов осциллограмм

Скачивание файлов осциллограмм со всех устройств, работающих по стандарту МЭК 61850, осуществляется с использованием файлов осциллограмм в формате COMTRADE. Файлы осциллограмм передаются из устройств по протоколу MMS (с помощью механизма передачи файлов). Основная трудность при скачивании файлов осциллограмм заключалась в том, что устройства имеют разный формат ответа на запрос места хранения файлов. В стандарте МЭК 61850 8-1 отсутствуют четкие требования к пути места хранения осциллограмм. Также у разных производителей по-разному реализованы узлы, информирующие о пуске и останове осциллографа (табл. 2). Кроме того, некоторые производители сохраняют осциллограммы в упакованном виде, и требуется произвести предварительную распаковку архива.

Механизм синхронизации времени различных устройств на ПС 500 кВ «Усть-Кут» сильно отличается. Многие устройства имеют возможность синхронизировать импульсами по выделенной шине (PPS) и по протоколу SNTP от резервированной системы единого времени на подстанции, а другие устройства еще имеют возможность синхронизации времени средствами протокола передачи данных. Некоторые устройства имеют медные интерфейсы синхронизации времени PPS, некоторые – оптические, также отличаются и уровни сигналов PPS – 220 В и 24 В. Для преобразования различных типов сигналов и интерфейсов PPS был применен спе-

циальный конвертер типа FCS-02-220.

Есть и такие устройства, которые поддерживают несколько типов синхронизации времени (табл. 3). В результате при проектировании для обеспечения точности синхронизации 1 мс для синхронизации большинства устройств был выбран тип синхронизации SNTP+PPS.

### Протокол резервирования сети PRP

На ПС 500 кВ «Усть-Кут» ЛВС подстанции впервые в истории ООО НПП «ЭКРА» была построена на базе протокола резервирования PRP. Одним из достоинств этого протокола является то, что нарушение исправности канала связи или коммутатора сети Ethernet не приводит к возникновению паузы в информационном обмене между устройствами сети, как это, например, происходит в сети, функционирующей под управлением только протокола RSTP, когда на перенастройку сети после повреждения требуется некоторое время, в течение которого связь между устройствами отсутствует. Для этого на подстанции созданы 2 независимые друг от друга локальные сети (локальная сеть А и локальная сеть В) кольцевой топологии. Соответственно, устройства, которые выполняют прием и отправку данных по протоколу PRP, должны иметь 2 независимых интерфейса для подключения к этим 2-м сетям.

В действительности на подстанции только устройства пр-ва ЭКРА имели 2 независимых Ethernet-интерфейса с поддержкой протокола резервиро-

вания PRP (см. табл. 4). У некоторых устройств других производителей имеются в наличии 2 Ethernet-интерфейса, но эти интерфейсы не являются независимыми – они являются дополнительными портами встроенного в них коммутатора. Соответственно, эти устройства подключались только к одной локальной сети А. Все остальные устройства или имеют только 1 Ethernet-интерфейс, или вообще имеют последовательный интерфейс RS-485 и подключаются только в локальную сеть А.

В результате получилось, что только примерно 80% от общего количества устройств поддерживают протокол резервирования PRP, и данные с этих устройств гарантированно будут доставлены получателям. Остальные 20% устройств подключены только к локальной сети А и в случае сбоя в этой сети останутся полностью отрезанными от получателей данных. Соответственно, эффект от внедрения протокола резервирования сети PRP снижается за счет того, что не все устройства на подстанции поддерживают протокол PRP. Для подключения устройств без поддержки PRP к обеим локальным сетям необходимо использовать устройства типа PRP Redundancy Box.

### Выводы

1. Наличие 2-х сетевых интерфейсов с поддержкой протокола PRP у интегрируемых устройств является желательным при подключении к ЛВС подстанции и обязательным при подключении к ЛВС цифровой подстанции (ЦПС).

2. Интеграция устройств, работающих по стандарту МЭК 61850,

требует значительно меньше времени за счет уменьшения времени установки соединения и возможности унификации процесса интеграции. В то же время были выявлены сложности протокола MMS и необходимость настройки наборов данных и отчетов со стороны интегрируемых устройств, чаще всего с привлечением наладчиков этих устройств. Эти проблемы можно решить – в первую очередь за счет использования динамических наборов данных МЭК 61850. В любом случае, чтобы снизить сложность всей системы и уменьшить время наладки и обслуживания, нужно стремиться к уменьшению количества используемых протоколов связи на подстанции до минимума. Вплоть до использования только одного МЭК 61850. Опыт показал все преимущества стандарта МЭК 61850, которые, несомненно, приведут к ещё более широкому применению этого стандарта в энергетике в будущем.

3. Синхронизация времени SNTP+PPS обеспечивает точность синхронизации в 1 мс, но в будущем нужно стремиться к синхронизации по протоколу PTP из-за его более высокой точности и уменьшения затрат на организацию выделенной шины.

4. Результаты наладки и испытаний АСУ ТП ПС 500 кВ «Усть-Кут» показали, что АСУ ТП на базе ПТК EVICON способна эффективно работать с оборудованием любых производителей, поддерживающих стандартные интерфейсы и протоколы связи. 



ПОДПИСКА НА 1-е полугодие 2018 г.  
(2 номера)

**2000** руб.

в т.ч. НДС 10% + пересылка  
(через редакцию журнала)