

УДК 681.51

КОМПЛЕКС СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ТПТС-СБ

А.Д. НАРИЦ, М.И. МОИСЕЕВ, А.Н. НОВИКОВ, П.С. КАРПОВ, А.А. БОРЗЕНКО

*Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова
Суцьевская, 22, Москва, 127055, Россия*

Поступила в редакцию 2 февраля 2015

Комплекс средств автоматизации (КСА) ТПТС-СБ предназначен для построения проектным путем интегрированных программно-технических комплексов (ПТК) управляющих систем безопасности (УСБ) АЭС. Средства КСА ТПТС-СБ относятся к классам безопасности 2У, 2НУ, 3У, 3НУ по НП-001 (ПНАЭ Г-01-011) ОПБ-88/97 и предназначены для построения систем контроля и управления с функциями категории качества К1 по НП-026-04. Они разработаны с учетом опыта разработки КСА ТПТС-НТ, опыта применения и эксплуатации аппаратуры ТПТС-ЕМ, а также опыта работы с компанией Siemens в рамках лицензионного соглашения по разработке комплекса средств автоматизации для системы безопасности на базе TELEPERM-ME и TELEPERM-XS.

При разработке КСА ТПТС-СБ учтены требования действующих в РФ норм и правил, относящихся к безопасности объектов атомной энергетики, а также рекомендации МАГАТЭ и МЭК в части, касающейся применения программируемой техники в системах безопасности (СБ). УСБ выполняет задачи измерения технологических параметров, их логическую обработку с целью выявить приближение и возникновение аварийной ситуации, выдачи команд на исполнительные механизмы (ИМ), выполняющие защитные действия, и представления информации о состоянии управляемого оборудования и исполнении заданных алгоритмов. УСБ связана с управляющей системой нормальной эксплуатации (СНЭ):

- информация, присутствующая в УСБ, используется в алгоритмах, реализуемых СНЭ;
- ИМ УСБ могут управляться СНЭ, некоторые участвуют в алгоритмах нормальной эксплуатации (НЭ).

При отказе УСБ, даже полном, энергоблок АЭС может быть остановлен, переведен в безопасное состояние и поддерживаться в этом состоянии сколь угодно долго только средствами СНЭ. При полном отказе управляющей СНЭ аналогичная задача может быть выполнена с использованием только УСБ. При этом эффективная интеграция УСБ с СНЭ имеет важное значение.

Комплекс средств автоматизации ТПТС-СБ обеспечивает возможность решения следующих задач:

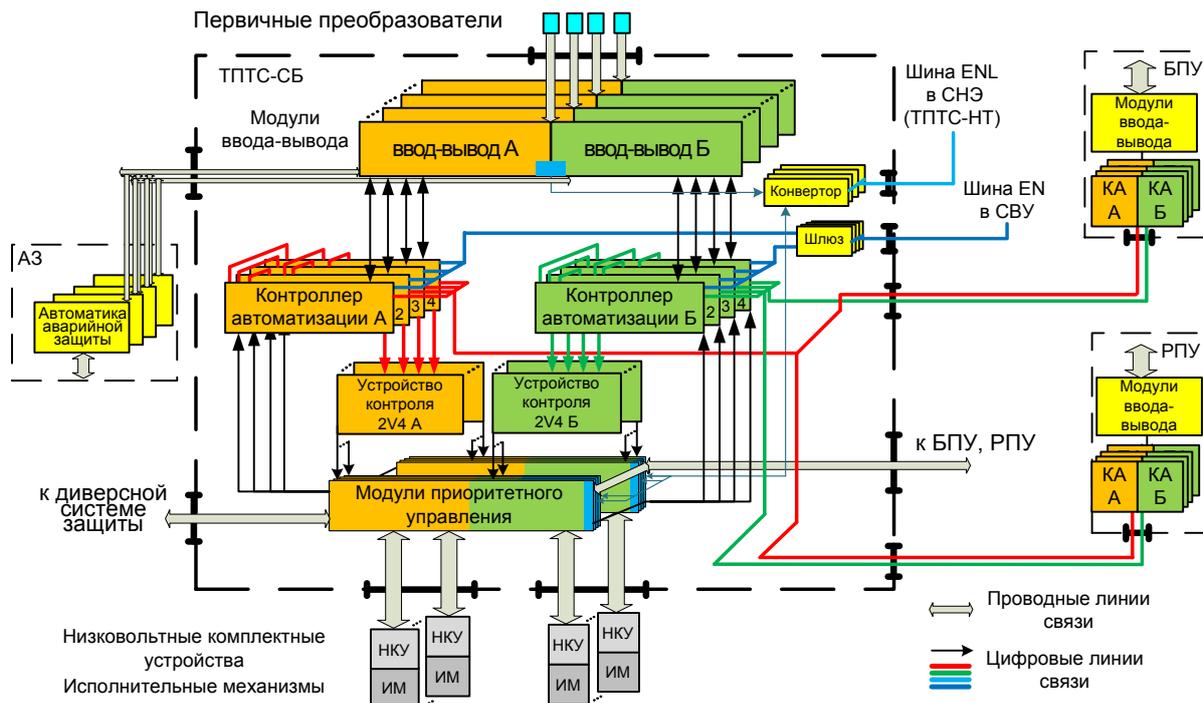
- создание трех- или четырехканальных ПТК с физически и гальванически разделенными каналами, с возможностью обмена данными между каналами для организации логики голосования «2-из-3», «2-из-4», «2.МАХ», «2.МІН»;
- вывод информации и прием команд управления от двух физически разделенных пунктов управления – блочного пункта управления (БПУ) и резервного пункта управления (РПУ);
- передача данных состояния по точкам контроля, объектам управления, реализованным алгоритмам управления в информационную систему.

Общая структурная схема четырехканальной УСБ на основе КСА ТПТС-СБ приведена на рисунке.

Компоненты КСА ТПТС-СБ обеспечивают:

- измерение сигналов первичных преобразователей (датчиков), применяемых в УСБ;

- индивидуальное управление ИМ СБ (насосами, выключателями, магнитными клапанами, запорной и регулирующей арматурой);
- запуск и выполнение алгоритмов управления защитными действиями;
- динамические характеристики, необходимые для выполнения функций УСБ;
- сигнализацию на панелях технических средств оперативного диспетчерского управления (ТС ОДУ) об измеренных и вычисленных величинах, срабатывании СБ и т. д.;
- передачу информации УСБ в другие подсистемы энергоблока АЭС – СНЭ и систему верхнего уровня (СВУ);
- самодиагностику, позволяющую выявлять отказы программно-технических средств систем, построенных на базе КСА ТПТС-СБ и выполняющих функции безопасности.



Общая структурная схема четырехканальной УСБ на основе КСА ТПТС-СБ

Исходя из принципа единичного отказа, канал УСБ имеет внутренний диверситет. Для исключения отказа по общей причине (ООП) УСБ и СНЭ программно-аппаратные средства, на базе которых создаются эти системы – КСА ТПТС-СБ и КСА ТПТС-НТ, имеют существенные отличия в системном и базовом программном обеспечении.

Логическая обработка в канале УСБ выполняется двумя разными микропроцессорными модулями. Отсутствие общих видов отказов достигается применением разных типов микропроцессоров, что влечет за собой применение различных инструментальных средств, используемых для разработки базового и системного программного обеспечения. Обработка логики управления защитными действиями в микропроцессорных модулях выполняется независимо, при этом нет необходимости вводить различия в прикладной алгоритм.

Компоненты, общие для УСБ и СНЭ (аппаратура, выполняющая функции измерения и индивидуального управления), имеют встроенный диверситет, т.е. построены так, чтобы одна ошибка не могла вызвать потерю управляемости со стороны аппаратуры УСБ, исполняющей алгоритмы управления защитными действиями, и со стороны СНЭ.

Наличие диверситета в модулях приема и обработки сигналов позволяет отказаться от применения для измерения одного и того же параметра датчиков разных изготовителей (разработчиков), если диверситет на уровне датчиков не требуется вследствие отсутствия в них программируемых компонентов. Функция индивидуального управления (ИМ) реализована в специализированном модуле, имеющем встроенный диверситет.

Проектирование ПТК на базе КСА ТПТС-СБ обеспечивается инструментальными средствами САПР (САПР-СБ), которые позволяют выполнять разработку, корректировку,

документирование и загрузку в контроллеры автоматизации ТПТС-СБ алгоритмов работы в виде прикладных структур (программ). Инструментальные средства САПР-СБ в виде подсистемы интегрированы в САПР GET-R1, которая является общей для всех поколений ТПТС – ТПТС-Е, ТПТС-ЕМ, ТПТС-НТ.

В состав КСА ТПТС-СБ входят следующие компоненты:

- приборные стойки с модулями;
- инструментальные средства автоматизированной разработки ПТК (инженерная станция);
- диагностическая станция, предназначенная для работ по наладке и диагностике ПТК на всех этапах его жизненного цикла;
- комплект оборудования для автоматизированной поверки (калибровки) модулей, относящихся к средствам измерения.

Кроме того, для выполнения ряда функций используются компоненты из состава КСА ТПТС-НТ:

- стойка питания, сертифицированная по 2 и 3 классам безопасности;
- контроллер автоматизации СНЭ, применяемый в приборных стойках ТПТС-СБ для выполнения функций, непосредственно не связанных с безопасностью – сбора данных о состоянии компонентов приборной стойки и передачи их в СВУ (функций сигнализации);
- комплект имитаторов технологического оборудования, используемых при наладке ПТК.

Имеется три типа приборных стоек ТПТС-СБ:

- стойка приборная ввода-вывода (СПВ);
- стойка приборная автоматизации (СПА);
- стойка приборная приоритетного управления (СППУ).

Состав и количество модулей, устанавливаемых в приборные стойки, определяется проектом УСБ. В СПВ может быть размещено до 4 крейтов, в которые устанавливаются модули связи с процессом (МСП). В одном крейте СПВ может быть установлено до 16 МСП. В СПА может быть размещено до 2 крейтов контроллеров автоматизации СБ (КА СБ), а именно, крейт КА СБ диверситета А (КА СБ-А) и крейт КА СБ диверситета Б (КА СБ-Б). Для физического разделения диверситетов с целью обеспечения независимости каждый из КА СБ – КА СБ-А и КА СБ-Б – размещается в своей СПА. В СППУ может быть размещено до 4 крейтов, в которых устанавливаются модули индивидуального приоритетного управления (МПУ) и модули голосования (МГ). В каждом крейте СППУ устанавливается два МГ – МГ диверситета А и МГ диверситета Б – и до 11 МПУ. МСП выполняют прием сигналов датчиков и выдачу сигналов технологического процесса. КА СБ выполняют автоматический контроль и управление – сбор сигналов датчиков, логическую обработку, выдачу команд на ИМ, передачу информации о состоянии управляемого оборудования и исполнении алгоритмов. МГ выполняют мажоритарную обработку команд управления ИМ, поступающих из каналов УСБ. Мажоритарная обработка сигналов (команд управления) выполняется возможно ближе к МПУ. Это позволяет минимизировать влияние возможных сбоев при работе аппаратуры, упростить последующую логику обработки сигналов. МПУ выполняют индивидуальное приоритетное управление ИМ технологического процесса. КА СБ канала безопасности связаны с БПУ и РПУ. Выполнение алгоритмов автоматического управления УСБ может быть запущено и проконтролировано с БПУ и РПУ. Контроль и управление УСБ с БПУ и РПУ реализуется также с использованием СПА и СПВ.

Приборные стойки ТПТС-СБ связываются между собой в канале УСБ, с БПУ, с РПУ и с СНЭ по цифровым линиям связи – коммуникационным шинам. Применение цифровых линий связи, в сравнении с проводными связями, применяемыми в аппаратуре TELEPERM-XS, позволяет более просто реализовать диагностику, увеличить объем передаваемой информации и тем самым расширить функциональные возможности КСА, а также исключить возможность прохождения ложной команды на ИМ.

Каналы информационного обмена между каналами УСБ независимы так же, как и каналы информационного обмена УСБ с БПУ, с РПУ, с СНЭ. Все коммуникационные шины в семействах ТПТС последнего поколения – как в ТПТС-СБ, так и в ТПТС-НТ – это шины последовательной передачи. Основной принцип организации коммуникаций в УСБ – соединения типа «точка-точка». Это позволяет обеспечить гарантированную доставку

сообщений за минимальное время, исключить возможность появления множественных отказов при любой единичной неисправности.

Связь КА СБ, размещенного в СПА, с МСП, размещенными в СПВ, а также с МПУ, размещенными в СППУ, выполняется по шинам ввода-вывода СБ (ШВВ СБ). Связь КА СБ, размещенного в СПА одного канала УСБ, с КА СБ, размещенными в СПА других каналов УСБ, выполняется по шинам межканального (межпроцессорного) обмена. Связь УСБ с СНЭ выполняется по локальным шинам ENL ТПТС-НТ.

Шины межпроцессорного обмена, локальная шина ENL, системная шина EN построены на основе технологии Industrial Ethernet 100 Мбит/с, ШВВ СБ – на основе стандарта RS-422.

Связь КА СБ с СВУ выполняется по системной шине EN опосредованно через шлюз сопряжения. Системная шина EN является общей для КСА всех последних поколений ТПТС.

Шины обеспечивают гальваническую изоляцию абонентов. Для связи между приборными стойками используется оптоволоконная среда передачи.

Номенклатура модулей ТПТС-СБ позволяет решить все задачи УСБ. Имеются следующие модули связи с технологическим процессом:

- модули ввода унифицированных сигналов тока и напряжения;
- модули ввода сигналов терморпар и термосопротивлений;
- модули вывода унифицированных сигналов тока и напряжения;
- модули ввода-вывода двоичных сигналов, позволяющие решать также задачи сопряжения с оборудованием аварийной защиты (АЗ), БПУ, РПУ;
- модули индивидуального приоритетного управления ИМ, включая регулируемую арматуру.

Модули логической обработки оснащены интерфейсами цифровых линий связи, обеспечивающих их непосредственное подключение к коммуникационным шинам. При этом доступ к модулям логической обработки УСБ из системной шины EN (из СНЭ) в рабочем режиме невозможен: линия приема Ethernet аппаратно разрывается механическим замком, размещенным на передней панели модулей. В сервисном режиме канала УСБ замок открывается, что позволяет загружать по системной шине EN в модули логической обработки прикладную структуру, соответствующую проекту УСБ. МСП и МПУ имеют встроенный аппаратный диверситет – части А и Б, каждая из которых выполняет функции УСБ, а также часть, выполняющая функции НЭ. Эти части полностью независимы, изолированы друг от друга гальванически. Части диверситета А и Б МСП/МПУ связаны по соответствующим ШВВ СБ (А/Б) со своим КА СБ (КА СБ-А/КА СБ-Б). Часть НЭ связана по ШВВ НЭ с интерфейсным модулем шины ENL (ИМН) в крейте СПВ/СППУ.

Сетевая связь модулей логической обработки КА СБ с МСП/МПУ, организованная по типу «точка-точка» (топология сети «дерево»), реализуется посредством модулей-коммутаторов ШВВ СБ, размещаемых в крейтах СПА, СПВ и СППУ. Каждая линия связи в «дерево» обеспечивает гальваническую изоляцию абонентов. Аналогично, сетевая связь процессора автоматизации (ПА) СНЭ с аппаратной частью НЭ в МСП/МПУ реализуется посредством ИМН, выполняющего функции коммутатора ШВВ НЭ, и коммутатора Ethernet шины ENL. Сетевая связь МСП/МПУ с ПА СНЭ резервированная.

Команды управления, выдаваемые КА СБ одного и того же диверситета (А/Б) всех каналов УСБ, обрабатываются МГ этого диверситета по заданной мажоритарной логике, прежде чем поступят в МПУ. Основное требование – исключение возможности формирования ложных команд. Основным методом достижения этого качества – параллельная обработка логики со сравнением конечного результата. В МПУ команды, поступающие из МГ обоих диверситетов и из СНЭ, обрабатываются в соответствии с их приоритетом, прежде чем результирующая команда будет выдана в ИМ.

Электропитание всех компонентов КСА ТПТС-СБ – дублированное. Работа модулей и коммуникационных шин в УСБ строго циклическая. Все модули ТПТС-СБ циклически выполняют процедуры самодиагностики. При обнаружении неисправности средствами контроля и самодиагностики выходные сигналы в МСП/МПУ устанавливаются в состояние, отвечающее требованиям принципа безопасного отказа. Исключаются блокировки команд СНЭ, передаваемые в ИМ, при отказе аппаратуры УСБ.

Модули логической обработки КА СБ разных диверситетов построены на основе разных микропроцессоров разных производителей. Диверситеты СБ в МПУ реализованы на ПЛИС. В МСП диверситеты СБ либо оба реализованы на ПЛИС либо один – на ПЛИС, другой – на микроконтроллере.

Встроенное программное обеспечение модулей логической обработки КА СБ и МСП разрабатывается в соответствии с требованиями стандарта МЭК 60880. В частности, разработка программного обеспечения ведется двумя независимыми группами программистов с использованием инструментальной системы SCADA Suite фирмы ESTEREL, сертифицированной немецким органом TÜV на соответствие международным стандартам безопасности.

Части СБ в МСП и МПУ – программно непараметрируемые.

КСА ТПТС-СБ построен на основе решений, соответствующих современному уровню развития техники.

Снижение вероятности единичного отказа УСБ на основе КСА ТПТС-СБ обеспечивается:

- надежностью модулей (расчетная наработка на отказ порядка 400-500 тысяч часов), обеспечиваемой современными технологиями и системой менеджмента качества;
- наличием избыточности, позволяющей строить многоканальные УСБ;
- верификацией в виде испытаний при разработке и производственного контроля при выпуске.

Снижение вероятности ООП УСБ на основе КСА ТПТС-СБ обеспечивается:

- удовлетворением требований по стойкости к внешним воздействующим факторам, которые учитываются при разработке и подтверждаются при испытаниях;
- независимостью, обеспечиваемой как физическим разделением, так и гальванической изоляцией аппаратуры диверситетов в канале УСБ, каналов УСБ между собой, УСБ от СНЭ;
- наличием разнообразия как аппаратного, так и программного.

Реализация аппаратного разнообразия непосредственно в аппаратуре каждого канала УСБ обеспечивает снижение затрат на разработку УСБ, ее эксплуатацию, сопровождение и поддержку.

Применение КСА ТПТС-СБ для построения УСБ и КСА ТПТС-НТ для построения СНЭ позволяет создавать современные интегрированные системы низовой автоматики АЭС, предоставляющие ряд ранее отсутствовавших полезных качеств, основными из которых являются наличие единого средства проектирования (САПР), «бесшовное» соединение УСБ с СНЭ вследствие общей идеологии построения семейств ТПТС. Кроме того, шкафы приборных стоек ТПТС-СБ и ТПТС-НТ имеют одинаковые размеры 1000 × 2200 × 400 мм (ШВГ), что обеспечивает гармоничное размещение в рядах, в помещениях, общность в обслуживании.

Применение интегрированной системы упрощает ее эксплуатацию, поскольку поддержка осуществляется одним производителем.

Разработку КСА ТПТС-СБ планируется завершить к середине 2015 г.