

УДК 681.51

СОВРЕМЕННАЯ ТИПОВАЯ АРХИТЕКТУРА АСУ ТП АЭС НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ ТПТС ПРОИЗВОДСТВА ФГУП «ВНИИА»

АРТЕМЬЕВ К.П., ГАЛИЦЫН Ю.С., ГРИЦЕНКО С.Ю., НАРИЦ А.Д., НОВИКОВ А.Н., АСПИДОВ К.М., БОРЗЕНКО А.А., ПЕРВОВ А.В.

*Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова»
(Москва, Российская Федерация)*

Аннотация. В докладе представлены особенности и основные характеристики комплекса средств автоматизации (КСА) ТПТС производства Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова» (ФГУП «ВНИИА»), применение которого обеспечивает построение современной надежной АСУ ТП АЭС, отвечающей международным требованиям.

Ключевые слова: АЭС, АСУ ТП, ТПТС, защита от ООП, защита в глубину, разнообразие.

MODERN TYPICAL ARCHITECTURE OF NPP I&C BASED ON TPTS TECHNOLOGY PRODUCED BY FSUE "VNIIA"

KONSTANTIN P. ARTEMEV, YURI S. GALITSYN, STANISLAV Yu. GRITSENKO, ALEXANDER D. NARITC, ALEKSEY N. NOVIKOV, KIRILL M. ASPIDOV, ANDREY A. BORZENKO, ALEKSEY V. PERVOV

The Federal State Unitary Enterprise "All-Russia Research Institute of Automatics named after N.L. Dukhov" (Moscow, Russian Federation)

Abstract. The report presents the features and main characteristics of the TPTS platform produced by the Federal State Unitary Enterprise "All-Russia Research Institute of Automatics named after N.L. Dukhov" (FSUE "VNIIA"), the use of which ensures the construction of a modern reliable automated process control system for NPP that meets international requirements.

Keywords: NPP, I&C system, TPTS, vulnerability to CCF, defense in depth, diversity.

Введение

На данный момент КСА ТПТС применяется во всех проектах АЭС российского дизайна, в том числе и на Белорусской АЭС. Характеристики КСА ТПТС позволяют создавать автоматизированную систему управления технологическими процессами (АСУ ТП) отвечающую требованиям защиты в глубину и обеспечивающую защиту от отказа по общей причине, в том числе и в программном обеспечении.

Основная часть

Современная типовая архитектура АСУ ТП, АСУ ТП Белорусской АЭС включает достаточно большое количество подсистем. ФГУП «ВНИИА» является разработчиком и изготовителем оборудования для наиболее крупных частей АСУ ТП:

- система нормальной эксплуатации;
- управляющая система безопасности.

Система нормальной эксплуатации (СНЭ) выполняет задачи, обеспечивающие эксплуатацию АЭС в определенных проектом условиях, необходимых для работы без нарушения эксплуатационных пределов.

Управляющая система безопасности (УСБ) предназначена для обеспечения ядерной безопасности АЭС. Учитывая тот фактор, что большую часть времени УСБ находится в дежурном режиме, необходимо обеспечить достаточную надежность УСБ и исключить выдачу ложных команд управления. На рис. 1 представлена укрупненная структурная схема АСУ ТП в соответствии с концепцией глубокоэшелонированной защиты (ГОСТ Р МЭК 61513-2011) реализованная на Белорусской АЭС.

Оборудование ТПТС-НТ используется на уровнях нормальной эксплуатации, НЭ важной для безопасности (НЭ ВБ), включая иницирующую часть предупредительных защит и систему для управления тяжёлой аварией (синий цвет).

Для четвертого уровня, особенности ТПТС-НТ позволяют локализовать этот уровень и предупредить распространение отказа от других уровней.

Более жесткие требования предъявляются для системы безопасности. Основное из этих требований - защита от отказов по общей причине посредством применения принципов разнообразия. И ТПТС-СБ в иницирующей части АЗ-УСБТ и исполнительной части УСБТ удовлетворяют этому требованию.

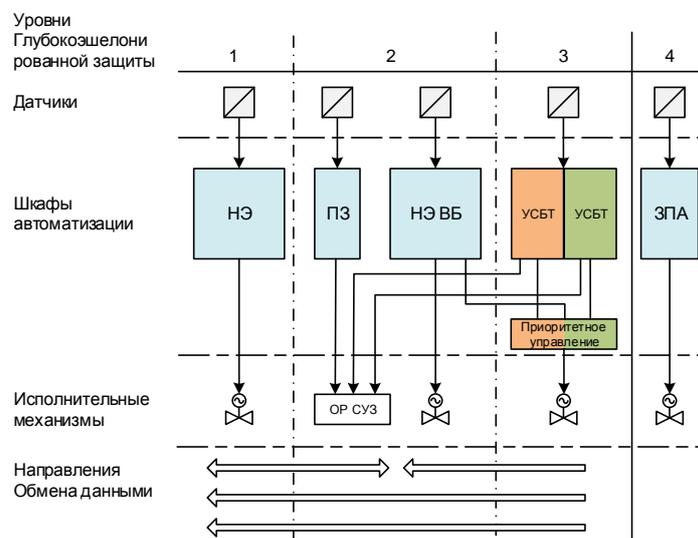


Рис. 1. Структурная схема АСУ ТП Белорусской АЭС

На рис. 2 приведена общая схема системы коммуникационных шин и распределение функций системы на базе КСА ТПТС-НТ. Система коммуникационных шин КСА ТПТС-НТ обеспечивает информационную связь между компонентами в ПТК, между ПТК в системе низовой автоматике, а также системы низовой автоматике с БШС, реализующими связь с СВУ. Она включает в себя системную шину EN, локальные шины ENL, шины ввода-вывода (ШВВ) в СВВ, полевые шины RS-485. Все шины являются шинами последовательной передачи, резервированные, обеспечивают гальваническое разделение между абонентами.

В ТПТС-НТ используется положительный опыт эксплуатации систем ТПТС, в которых эффективно решена проблема безударного переключения резерва, обеспечивающего сохранение работоспособности системы при любых многократных отказах, за исключением одновременных отказов в основном и резервном узлах одного типа.

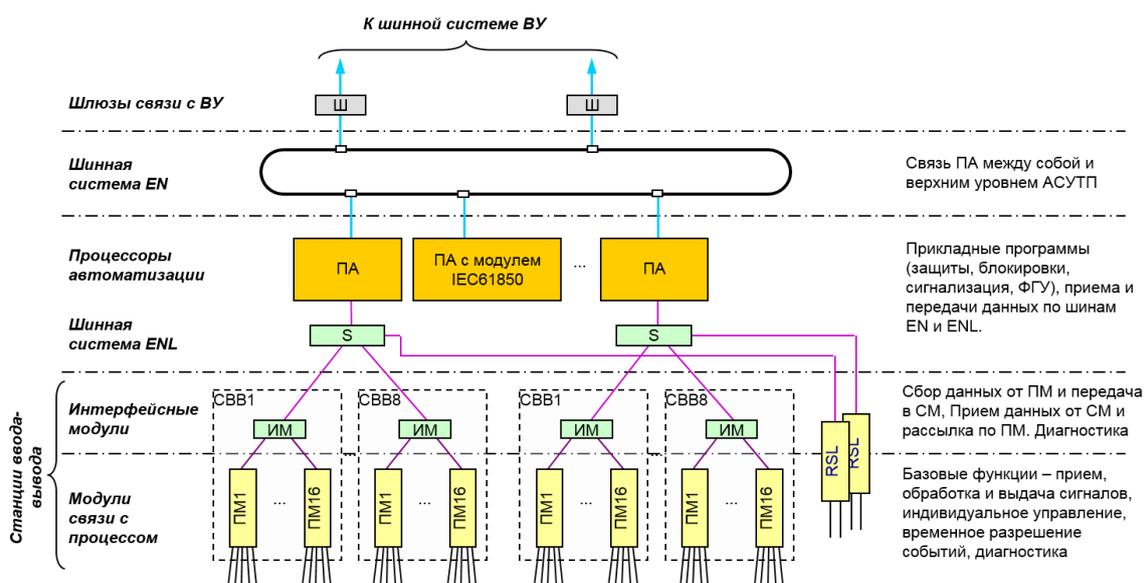


Рис. 2. Общая схема системы коммуникационных шин

Механизм горячего резерва «1-из-2» в ТПТС-НТ используется на всех уровнях – на

уровне ПА, на уровне СВВ (ИМН, МСП), на уровне коммуникационных шин.

ПА работает строго циклически, работа коммуникационных шин сбора данных (ENL, ШВВ) детерминирована, что обеспечивает регулярную доставку данных, критичных ко времени.

Системная шина EN построена на основе технологии Industrial Ethernet 100 Мбит/с и реализована в виде виртуального кольца последовательно соединённых коммутаторов Ethernet, образующего оптоволоконную коммуникационную магистраль. Её резервирование осуществляется путём реконфигурации избыточной структуры связей виртуального кольца.

Локальная шина ENL имеет радиальную организацию с соединениями между ПА и СВВ типа «точка-точка», реализуемую коммутатором Ethernet. Резервирование шины ENL обеспечивается посредством подключения к ПА двух шин ENL, каждая из которых подключена к своему интерфейсному модулю (ИМН) в СВВ.

В СВВ имеется 2 ИМН и 2 ШВВ. ШВВ в СВВ так же, как и шина ENL, имеет радиальную организацию, обеспечивающую подключение МСП к ИМН соединениями типа «точка-точка». МСП имеют 2 интерфейса ШВВ, каждый из которых подключён к своему ИМН.

Радиальная организация шин по типу «точка-точка» и их резервирование обеспечивают сокращение времени обмена информацией, позволяют исключить возможность потери значительного объёма входной информации при единичном отказе.

Такая структура построения обеспечивает удобство обработки данных процесса, поскольку каждый параметр технологического процесса легко доступен каждому ПА вследствие высокой скорости информационных каналов. Кроме того, существенно повышается наглядность при проектировании, сопровождении и последующих модификациях проекта системы.

Конструктивные и технические характеристики КСА ТПТС-НТ обеспечивают его работу как в резервированном, так и нерезервированном режиме в соответствии с требованиями проекта. Еще более ответственными являются мероприятия по обеспечению ядерной безопасности энергоблока. Функции УСБ направлены на предотвращение проектных аварий, ограничение их последствий и обеспечение безопасности при любом из учитываемых проектом исходном событии с наложением, в соответствии с принципом единичного отказа, одного, независимого от исходного события, отказа элементов или одной, независимой от исходного события, ошибки оператора.

АСУ ТП должна быть построена таким образом, чтобы максимально учитывать требования нормативных документов, сохраняя в то же время эффективность работы АЭС.

Важнейшими из требований, направленных на обеспечение ядерной безопасности, являются требования по применению в УСБ принципов резервирования, независимости и разнообразия (в соответствии с рекомендацией NUREG/CR-7007). Структурная схема УСБ Белорусской АЭС показана на рис. 3.

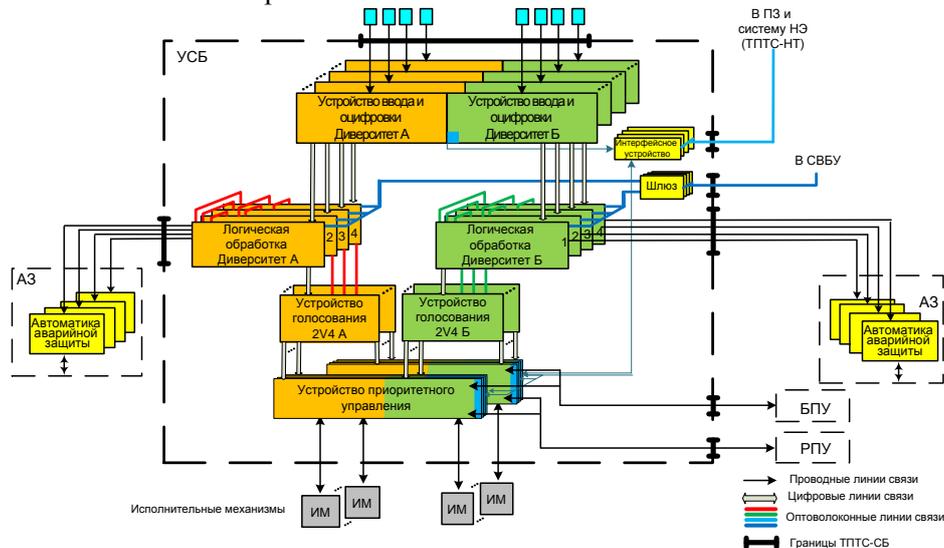


Рис. 3. Структурная схема УСБ Белорусской АЭС

Целевые показатели системы достигаются путем создания многоканальной структуры.

При этом каждый канал УСБ способен выполнить каждую из функций безопасности. Для этих целей каждый канал комплектуется выделенным КИП (по одному датчику на параметр для каждого канала) и исполнительными механизмами. Для того, чтобы при отказе оборудования не выдавались ложные команды предусмотрено голосование по логике «2 из 4», в котором помимо параметров, выработанных (измеренных или вычисленных) внутри каждого канала УСБ, используется информация из трех других каналов. Голосование происходит на двух уровнях: первый - на уровне технологических параметров, формируя, таким образом, достоверный и пригодный для дальнейшей обработки сигнал в каждом канале; второй - на уровне ввода команд в стойки приборные приоритетного управления, где пресекается таким образом выдача ложной команды на исполнительные механизмы, а так же, в случае отказа в данном канале УСБ (процессор ПА-СБ или тракт передачи команд), выдача команд на исполнительные механизмы по мажорированным командам других каналов УСБ. Данные подходы обеспечивают при единичных отказах – в части аварийных защит принцип «безопасного» отказа, а в части управления исполнительными механизмами УСБТ защиту от выдачи ложной команды.

Обеспечение принципа независимости достигается путем размещения оборудования каналов УСБ в отдельных помещениях, разнесенных в пространстве, осуществлением питания от независимых источников. Цифровые связи между каналами выполнены в виде выделенных (точка-точка) оптических линий связи, обеспечивающих гальваническую развязку каналов УСБ. Связь с аппаратурой СНЭ также реализована оптическими каналами системной шины EN. Каждый канал УСБ содержит два независимых комплекта аппаратуры. Комплекты А и В реализованы различными техническими средствами и никак не связаны между собой. Каждый комплект имеет собственный набор КИП. Для функционирования СНЭ требуется информация от КИП УСБ - эти связи также оптические, однонаправленные каналы связи (из УСБ в СНЭ) УСБ-СНЭ не связаны с межканальными шинами УСБ и имеют другой протокол обмена.

Для обеспечения независимости поведения программного обеспечения от внешних иницирующих факторов, в СБ в любой момент времени можно предсказать интенсивность потоков данных. Эта интенсивность постоянна и не зависит от времени и состояния внешнего оборудования (КИП, приводов, смежных систем) и идентична той, которая была зафиксирована при сдаче системы в промышленную эксплуатацию. Достигается это за счет исключения использования прерываний – вся обработка и пересылка сигналов происходит циклически.

Принципы разнообразия являются основой для построения УСБ, в которой снижена до приемлемого и разумного минимума вероятность отказа по общей причине в системе безопасности при любых проектных воздействиях, а также при ошибочном действии персонала при эксплуатации и ремонте. Помимо единичных случайных отказов в оборудовании систем безопасности АЭС, устойчивость к которым безусловно необходима, в соответствии с современными нормами должна быть обеспечена устойчивость к отказу по общей причине.

Также для обеспечения устойчивости к отказам по общей причине, связанных с ведением времени в системе, решено отказаться от поддержания системного времени в аппаратуре комплектов А и Б. Время ведется и синхронизируется с временем АСУ ТП только в узлах нормальной эксплуатации, служащих для передачи информации из аппаратуры комплектов А и Б в систему нормальной эксплуатации и СВУ, которые не взаимодействуют с узлами системы безопасности и не влияют на их работу.

Практическая реализация принципа разнообразия в модулях ТПТС-СБ заключается в использовании двух независимых, аппаратно-различных комплектов оборудования и как следствие – обеспечивается программное разнообразие.

Электронные компоненты для реализации схем комплектов А и Б проиллюстрированы в табл. 1.

Реализация обозначенных подходов и архитектура модулей ТПТС-СБ позволяет интегрировать функции НЭ ВБ и СБ. Интеграция заключается в реализации следующих подходов:

1. Исполнительные механизмы системы безопасности контролируются системой нормальной эксплуатации важной для безопасности, в случае отсутствия аварии, и управляются от системы безопасности в случае обнаружения аварии;

2. Измерения технологических параметров процесса должны быть доступны для

функций нормальной эксплуатации (например, для предупредительных защит или передачи в СВБУ).

Таблица 1. Аппаратное разнообразие

Тип модуля	Комплект А	Комплект Б
Модуль ввода унифицированных сигналов тока	ПЛИС Altera	Микроконтроллер STM
Модуль ввода сигналов термоэлектрических преобразователей и термопреобразователей сопротивления		
Модуль приоритетного управления	ПЛИС Altera	ПЛИС Xilinx
Модуль ввода аппаратных дискретных сигналов	ПЛИС Altera	ПЛИС Xilinx
Процессорный модуль автоматизации	Микропроцессор Freescale (PPC) + ПЛИС Altera + микроконтроллер Hilscher NetX	Микропроцессор Xilinx (ARM) + ПЛИС Xilinx
Модуль-размножитель 4-канальный	ПЛИС Altera Hi	ПЛИС Xilinx
Преобразователь интерфейсов крейта	ПЛИС Altera	ПЛИС Xilinx
Модуль-коммутатор голосования	ПЛИС Altera	ПЛИС Xilinx
Модуль голосования	ПЛИС Altera	ПЛИС Xilinx

Данная структура обеспечивает возможность обнаружения, локализации и устранения ООП на ранних стадиях его возникновения. Это достигается путем сравнения результатов работы обоих комплектов в НЭ ВБ.

На рис. 4 показана структура АСУ ТП АЭС на базе аппаратуры ТПТС-НТ в части системы нормальной эксплуатации и ТПТС-СБ в части системы безопасности. Как мы видим данные две платформы полностью покрывают все задачи, связанные с функциями нормальной эксплуатации и безопасным управлением реакторной установкой.

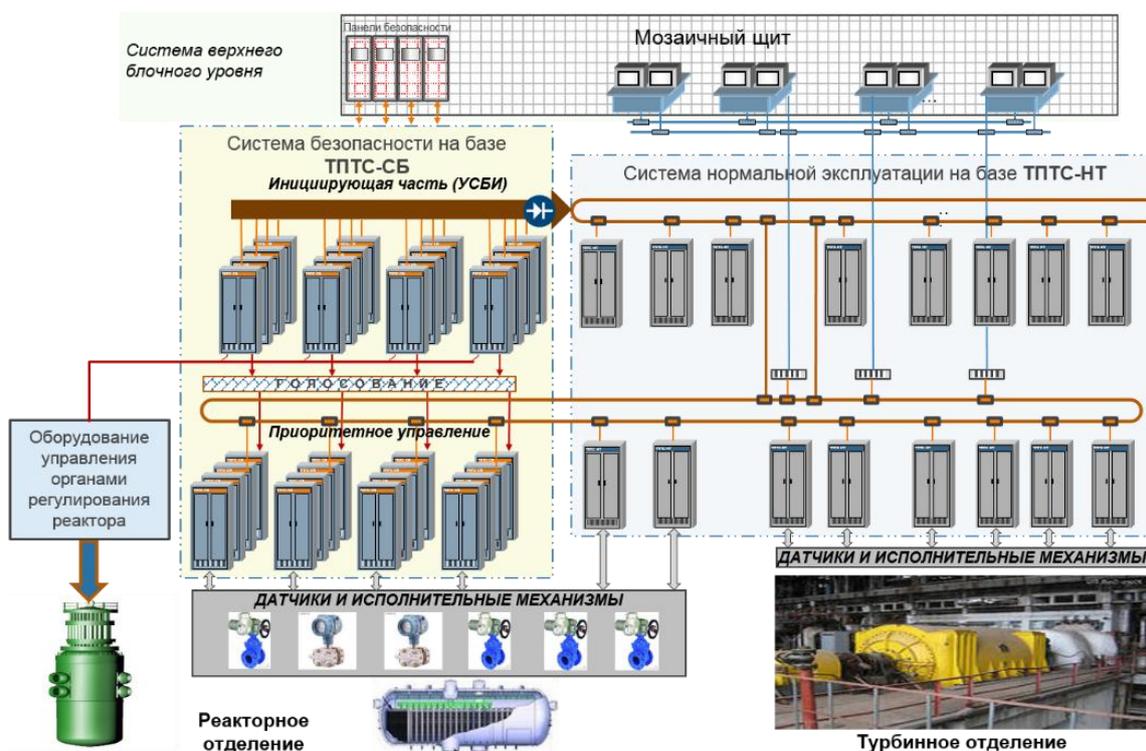


Рис. 4. Структура АСУ ТП АЭС.

Для проектирования прикладного программного обеспечения и аппаратной

конфигурации оборудования ФГУП «ВНИИА» разработало и внедрило интегрированную систему автоматизированного проектирования САПР GET-R1.

Инструментальные средства GET-R1 обеспечивают сквозную разработку всего проекта нижнего уровня, включая технологические алгоритмы, прикладное программное обеспечение и эксплуатационную документацию. В GET-R1 выполняются следующие виды документов:

- базы данных точек подключения, сигналов и механизмов;
- технологические алгоритмы управления, не зависящие от применяемых средств автоматики;
- реализация технологических алгоритмов управления для конкретного поколения аппаратуры ТПТС (путем автоматизированной конвертации технологических алгоритмов);
- программный код алгоритмов управления, загружаемый в модули ТПТС;
- схемы подключения объектов управления к ПТК ТПТС;
- схемы соединений и шинных связей ПТК, исходные данные для кабельных журналов.

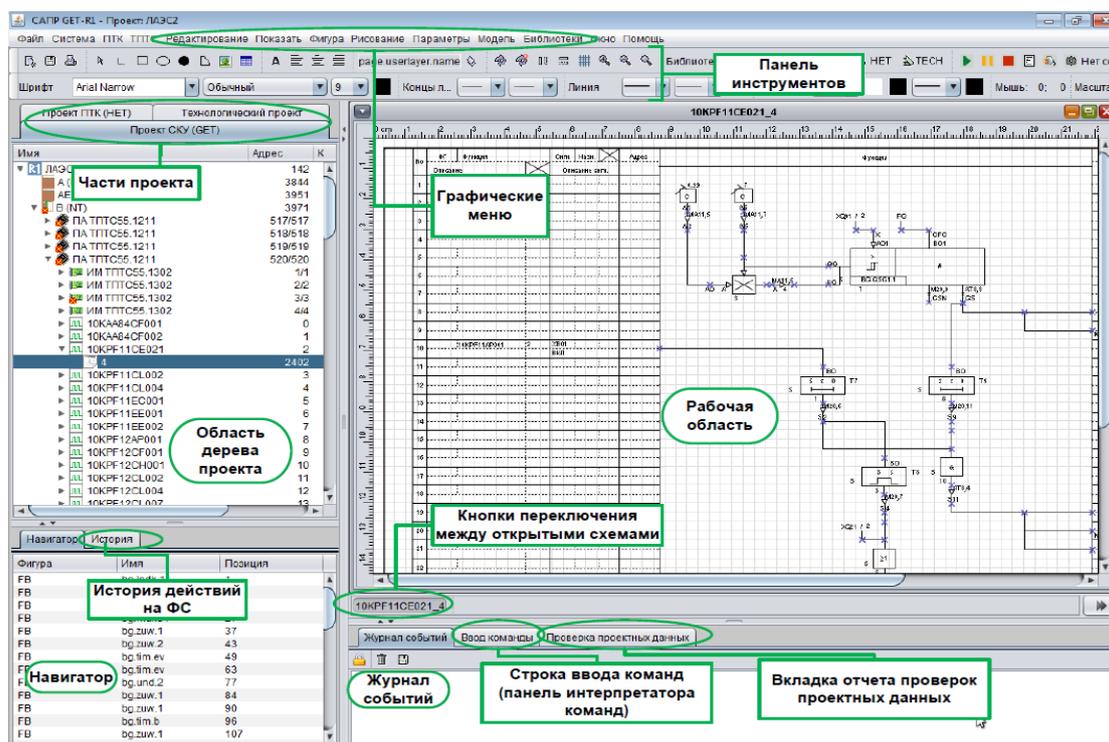


Рис. 5. САПР GET-R1.

Разработка перечисленных частей проекта может выполняться разными организациями, при этом процедуры обмена исходными данными максимально автоматизированы. Система GET-R1 включает в себя полную модель оборудования ТПТС (ТПТС-НТ и ТПТС-СБ), графическую визуализацию при моделировании, виртуальные имитаторы механизмов и окна управления, а также средства разработки тестовых сценариев для автоматической верификации прикладного программного обеспечения ТПТС.

Инструментальные средства GET-R1 прошли апробацию и сертификацию, применяются АО «Атомэнергопроект», АО «АТОМПРОЕКТ» и другими организациями при проектировании АСУ ТП проектов Ленинградской, Белорусской АЭС, а также в теплоэнергетике и нефтяной отрасли.

На данный момент GET-R1 является мощным инструментом, позволяющим создавать весь перечень проектной документации, а именно: технологические алгоритмы, алгоритмы управления с привязкой к конкретной аппаратуре, схемы подключений (подключение ТПТС к конкретным механизмам) и общие аппаратные схемы (схемы размещения аппаратуры по шкафам, местам в крейте).

Заключение

АСУ ТП Белорусской АЭС, построенная на базе средств ТПТС-НТ в СНЭ (уровни 1, 2, 4) и ТПТС-СБ в УСБ (уровень 3) полностью отвечает всем требованиям по разнообразию, независимости, резервированию. Реализован принцип глубокоэшелонированной защиты. Цифровая система безопасности на базе ТПТС-СБ, применяя встроенное программное и аппаратное разнообразие на каждом этапе выполнения функций УСБ, гарантирует выполнение функции как при единичном отказе, так и при отказе по общей причине, в том числе и программного обеспечения. Применение ТПТС-СБ для построения АСУ ТП АЭС в сочетании с ТПТС-НТ позволяет создать гармоничную АСУ ТП с оптимизированными связями безопасности и нормальной эксплуатации, а также с блочным и резервным пунктами управления, что обеспечит эффективное и безопасное управление энергоблоком.

Список литературы

1. ГОСТ Р МЭК 61513-2011 Системы контроля и управления, важные для безопасности. Общие требования.- М.: Стандартиформ, 2012.
2. NUREG/CR-7007. Методы обеспечения разнообразия в АСУ ТП АЭС.