

УДК 681.51/54

**ОСОБЕННОСТИ АППАРАТУРЫ УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ НА
БАЗЕ КОМПЛЕКСА СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ТПТС-СБ В АСПЕКТЕ
ПРОВЕДЕНИЯ НАЛАДКИ И ПРОВЕРОК**

СЕЛИВЕРСТОВ Е.С., ГРИЦЕНКО С.Ю., НОВИКОВ А.Н.

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова»

(Москва, Российская Федерация)

Аннотация. Темой доклада являются особенности аппаратуры управляющей системы безопасности (УСБ) атомной электростанции (АЭС) на базе комплекса средств автоматизации ТПТС-СБ, учитывающие специфику проведения пуско-наладочных работ (ПНР) УСБ и проведения периодических проверок УСБ во время планово-предупредительного ремонта (ППР).

Ключевые слова: АЭС, ТПТС-СБ, автоматизация, автоматизированные системы управления, система безопасности, сценарий испытаний.

**FEATURES OF THE EQUIPMENT OF THE INSTRUMENTATION AND CONTROL
SAFETY SYSTEM BASED ON THE COMPLEX OF AUTOMATION TOOLS TPTS-SB IN
ASPECT OF COMMISSIONING AND CHECKS**

EVGENIY.S. SELIVERSTOV, STANISLAV Yu. GRITSENKO, ALEKSEY N. NOVIKOV

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

Abstract. The topic of the report are features of the equipment of the instrumentation and control safety system of a nuclear power plant based on the complex of automation tools TPTS-SB, taking into account the specifics of commissioning and periodic inspections during scheduled preventive maintenance.

Keywords: NPP, TPTS-SB, automation, automated control systems, safety system, test script.

Введение

Настоящий доклад посвящен особенностям разработанного и выпускаемого ФГУП «ВНИИА» комплекса средств автоматизации ТПТС-СБ, предназначенного для построения программно-технических комплексов управляющих систем безопасности АЭС. Интерес представляют особенности, которые необходимо учитывать при проведении ПНР и ППР энергоблока и разработке регламентов проверок и испытаний систем безопасности.

При разработке комплекса средств автоматизации ТПТС-СБ, имеющего класс безопасности 2У, ввиду специфичной области его функционального применения стала необходимость пересмотра сложившихся подходов к проведению наладки и периодических проверок системы, построенной на базе ТПТС-СБ, относительно подходов для предыдущих поколений ТПТС, а также внедрения новых режимов работы оборудования

Основная часть

Ядром УСБ, построенной на базе комплекса средств автоматизации ТПТС-СБ, является процессорный модуль автоматизации (ПМА) (ТПТС57.1101 – диверситет А, ТПТС57.1102 – диверситет Б), отвечающий за выполнение пользовательских алгоритмов и организацию информационного обмена как в пределах УСБ, так и с другими подсистемами АСУ ТП АЭС.

ПМА реализует следующие функции в аспекте информационного обмена:

- Прием аппаратных сигналов посредством модулей ввода.
- Выдача аппаратных сигналов посредством модулей вывода.
- Выдача команд управления исполнительными механизмами в модули приоритетного управления / модули приоритетного управления регулятором (МПУ/МПУР).
- Прием сигналов обратных связей исполнительных механизмов от МПУ/МПУР.
- Прием и выдача сигналов в другие ПМА по межпроцессорным интерфейсам (МПИ).
- Выдача сигналов по шине EN в СКУ НЭ на базе ТПТС-НТ.
- Выдача сигналов по шине EN в СВБУ.

Каждая группа сигналов, отвечающих за ту или иную функцию информационного обмена в общем случае имеет структуру, состоящую из трех полей:

- Значение сигнала.
- Признак «ДОСТОВЕРНОСТЬ».
- Признак «ТЕСТ».

Причем одновременно может меняться как значение сигнала, так и его признаки, и УСБ должна определенным образом среагировать на эти изменения.

В результате анализа возможных эксплуатационных ситуаций, являющихся следствием регламентов проверок референтных АЭС, формирования при разработке максимального охвата диагностикой (автоматической, автоматизированной и ручными проверками) всех элементов УСБ были приняты следующие обозначения режимов ПМА:

- «Работа» (WRK).
- «Имитация» (IMIT).
- «Программирование/Опробование» (PROG).

Формальное описание свойств в зависимости от режима работы ПМА приведено в табл. 1.

Таблица 1. Режимы работы ПМА

Режим ПМА	Работа процессорного модуля автоматизации в режимах «работа», «имитация» и «программирование/опробование»
WRK	<ul style="list-style-type: none"> - Штатная обработка прикладного программного обеспечения (ППО). - Имитация входных и выходных сигналов недоступна. - Возможность загрузки ППО и внесения изменений недоступна.
IMIT	<ul style="list-style-type: none"> - Обработка ППО. - Возможность имитации входных и выходных аналоговых и дискретных сигналов, поступающих от модулей ввода и МПУ/МПУР, а также сигналов, поступающих по межпроцессорному интерфейсу, выходов на шину EN. - Сигналы, поступающие на модули вывода и модули приоритетного управления с признаком «ТЕСТ», в дальнейшую обработку поступают как недостоверные. Сигналы, имеющие признак «ТЕСТ» передаются другим абонентам по шине EN как недостоверные. - Имеется возможность разрешить передачу сигналов, предназначенных для управления модулями вывода аналоговых и дискретных сигналов, модулями приоритетного управления, а также аналоговых и дискретных сигналов, передаваемых по шине EN, игнорируя наличие признака «ТЕСТ». - Имеется возможность внесения изменений в настроечные параметры (константы в ППО). - Возможность загрузки ППО недоступна.
PROG	<ul style="list-style-type: none"> - Обработка ППО. - Возможность имитации входных и выходных аналоговых и дискретных сигналов, поступающих от модулей ввода и МПУ/МПУР, а также сигналов, поступающих по межпроцессорному интерфейсу, выходов на шину EN. - Все дискретные сигналы, поступающие на модули вывода, модули приоритетного управления и другим абонентам по шине EN устанавливаются в состояние логического «0». - Все аналоговые сигналы, поступающие на модули вывода и другим абонентам по шине EN, в дальнейшую обработку поступают как недостоверные. - По умолчанию предусмотрена блокировка выходов МПИ. Все сигналы, передаваемые по МПИ другим абонентам, назначаются как недостоверные. - Имеется возможность разрешить передачу сигналов, предназначенных для управления модулями вывода аналоговых и дискретных сигналов, модулями приоритетного управления, а также аналоговых и дискретных сигналов, передаваемых по шине EN, игнорируя наличие признака «ТЕСТ». - Предусмотрена возможность разблокировки всех или отдельных групп выходов МПИ для передачи сигналов по МПИ другим абонентам тождественно.

Режим ПМА	Работа процессорного модуля автоматизации в режимах «работа», «имитация» и «программирование/опробование»
	- Имеется возможность загрузки ППО.

Принцип обработки недостоверных сигналов, поступающих на модули вывода:

- в телеграммах шины ввода-вывода (ШВВ) в направлении модуля выдачи дискретных сигналов передаются значения, переводящие выходы модуля в состояние 0 В;
- в телеграммах ШВВ в направлении модуля выдачи аналоговых сигналов, формируемых по недостоверным маркерам, передается значение сигнала, при этом признак достоверности установлен в состояние логической «0».

Принцип обработки недостоверных сигналов, поступающих на модули приоритетного управления:

- в телеграммах ШВВ в направлении МПУ и МПУР, формируемых по недостоверным сигналам, передается команда NOP, означающая отсутствие автоматических команд УСБ от данного ПМА.

Принцип обработки недостоверных сигналов, передаваемых другим абонентам по шине EN (ПТК СКУ НЭ, СВБУ):

- в телеграммах передачи дискретных сигналов, формируемых по недостоверным сигналам, передаются состояния логического «0»;
- в телеграммах передачи аналоговых сигналов, формируемых по недостоверным сигналам, передаются текущие значения соответствующих сигналов с установленным признаком недостоверности.

Сформулированы положения:

1. Режим «Имитация» – предназначен преимущественно для проведения проверок в период работы энергоблока на мощности, так как использование этого режима позволяет проводить проверку отдельной функции безопасности без вмешательства в работу других функций.

2. Режим «Программирование/Опробование» – предназначен преимущественно для обслуживания программно-технических средств ТПТС-СБ в эксплуатации, а также для проведения проверок в период пуско-наладочных работ и планово-предупредительного ремонта, так как в этом режиме исключаются любые управляющие воздействия со стороны УСБ на исполнительные механизмы, в другие подсистемы и т.д. Но при необходимости возможна частичная или полная разблокировка управляющих воздействий.

3. Органом выбора режимов функционирования ПМА является трехпозиционный переключатель с ключевым доступом, расположенный на лицевой панели модуля. Три положения переключателя предназначены для выбора режимов «Программирование / опробование», «Имитация» и «Работа». Основным режимом, в котором функционирует ПМА, является режим «Работа». В качестве технической меры, позволяющей контролировать вывод ПМА из состояния «Работа», введена необходимость подтверждения оперативным персоналом выполняемых обслуживающим персоналом манипуляций с переключателем режимов ПМА. Такое подтверждение организовано с помощью аппаратного ключа подтверждения режима функционирования ПМА, который располагается на панелях блочного пункта управления (БПУ).

4. Организована сигнализация персоналу о текущем положении ключа и режиме работы ПМА на панелях БПУ, на лицевой панели ПМА, на активных элементах видеокадров СВБУ и диагностической станции, на инженерной станции в САПР GET-R1 при работе с ПМА.

5. Для обработки сигналов ключей подтверждения и формирования разрешений на переключение режимов работы ПМА разработан проектный алгоритм. Алгоритм формирования разрешений на переключение режимов работы ПМА базируется на следующих постулатах:

- При состояниях реакторной установки «Работа на мощности», «Горячее состояние», «Реактор на минимально контролируемом уровне мощности», «Режим разогрева» перевод из режима «Работа» в режим «Имитация» или «Программирование» разрешен только для одного канала безопасности одного диверситета.

- При состояниях реакторной установки «Перегрузка топлива», «Останов для ремонта», «Холодное состояние» в случае, когда все четыре ключа одного диверситета повернуты в сторону разрешения переключения, разрешен перевод в режим «Имитация» или «Программирование/опробование» любого количества каналов безопасности одного диверситета в любых комбинациях.

В процессе работы УСБ, построенной на базе комплекса средств автоматизации ТПТС-СБ, выполняется постоянная автоматическая самодиагностика компонентов УСБ:

- самодиагностика всех компонентов приборных стоек (стойки приборные ввода/вывода, стойки приборные приоритетного управления, стойки приборные автоматизации, стойки питания);

- самодиагностика компонентов отдельных модулей (модули связи с процессом, МПУ/МПУР, коммуникационные модули, служебные модули);

- самодиагностика трактов передачи данных, включая функцию автоматического тестирования МПУ и МПУР;

- диагностика неисправностей во внешних цепях;

Объем диагностики обеспечивает обнаружение неисправного типового элемента замены (ТЭЗ) и подключенного к нему канала измерения (управления).

Обнаруженные неисправности или отказы индицируются:

- на неисправном или отказавшем модуле (с помощью светового индикатора модуля);

- на приборной стойке в виде ламповой индикации;

- на СВБУ в цифровом виде;

- на диагностической станции в виде окон расширенной диагностики;

- на ТС ОДУ в виде сервисных табло и звуковой сигнализации.

При разработке аппаратуры ТПТС-СБ особое внимание было уделено вопросам эффективности взаимодействия пользователя с аппаратурой управляющей системы безопасности. Разработанный для аппаратуры ТПТС-СБ в САПР GET-R1 программный компонент автоматизированной проверки комплексов (система моделирования и система редактирования и запуска сценариев) собрал все возможности аппаратуры ТПТС-СБ и предоставил пользователю эффективный и удобный инструмент по верификации прикладной конфигурации программно-технического комплекса (ПТК), а также наладке, тестированию и проведению периодических проверок УСБ.

Возможности программного компонента позволили проводить проверки алгоритмов управления и программного обеспечения модулей с использованием реального оборудования (полунатурное тестирование) с выдачей сигналов на исполнительные механизмы, смежные подсистемы и панели безопасности, а также ограничиваясь только проверкой проекта системы.

Система моделирования и система редактирования и запуска сценариев позволяют создавать сценарии для проведения автоматизированных проверок по заранее разработанным методикам. При помощи последовательной имитации технологических параметров с контролем формирования уставок и управляющих воздействий возможно проверить, правильно ли работает алгоритм и выдача оборудованием сигнализации и сигналов контроля и управления. Кроме того, возможно проверить взаимодействие и взаимовлияние алгоритмов между собой. Одновременно, могут решаться и решаются задачи проверки адекватности собственно алгоритмов, и проводится анализ взаимодействия различных алгоритмов управления в динамических режимах.

Использование полунатурного тестирования при помощи сценариев позволяет минимизировать трудозатраты и влияние человеческого фактора при проведении однотипных операций как в случае проверки деградации логики обработки входных сигналов (изменение принципа обработки в зависимости от количества недостоверных сигналов), так и при проверке самих алгоритмов функций безопасности в различных комбинациях исходных условий их запуска. Программные сценарии минимизируют возможные ошибки при тестировании на оборудовании за счет предварительной проверки на модели ПТК. Автоматизированные сценарии проверки, разработанные для тестирования УСБ энергоблока №1 Белорусской АЭС, были адаптированы для энергоблока №2 Белорусской АЭС с минимальными трудозатратами.

Окно имитации в САПР GET-R1 позволяет выборочно или полностью разблокировать выдачу управляющих воздействий при наличии признака «ТЕСТ» выходных сигналов,

проводить имитацию входных сигналов с наблюдением влияния имитации на конкретное технологическое оборудование и другие алгоритмы, наблюдать за всеми входными и выходными сигналами ПМА, определять состояния режимов работы ПМА.

Разработанные функции программного компонента САПР GET-R1 для аппаратуры ТПТС-СБ активно применялись при проведении этапов статического и динамического тестирования (с использованием полномасштабной модели технологических систем энергоблока №1 Белорусской АЭС), верификации прикладной конфигурации и функциональных испытаний программно-технического комплекса УСБ и иницилирующей части предупредительных защит (ПЗ). Автоматизированные сценарии проверки функций безопасности нашли широкое применение при проведении автономной и комплексной наладки УСБ и иницилирующей части ПЗ энергоблоков №1 и №2 Белорусской АЭС. Сценарии проверки ППО включены в состав эксплуатационной документации на ПТК, разработаны инструкции по использованию сценариев при проведении периодических проверок ППО. Разработка сценариев проверки проходила при непосредственном участии главного конструктора реакторной установки ОКБ «ГИДРОПРЕСС» и наладочной организации АО «Атомтехэнерго». В процессе ПНР энергоблока №1 эксплуатирующий персонал Белорусской АЭС приобрел необходимый опыт по проведению периодических проверок ППО с использованием инструментов автоматизированного тестирования САПР GET-R1.

Заключение

При разработке комплекса средств автоматизации ТПТС-СБ, предназначенного для построения программно-технических комплексов управляющих систем безопасности АЭС, реализован комплекс мер, направленных на упрощение наладки и эксплуатации. Введена возможность проверки работы прикладных алгоритмов, как без воздействия, так и с воздействием на объекты управления. Инструментальные средства проектирования, входящие в состав программно-технического комплекса, позволяют создавать сценарии проверок работы прикладных программ, автоматизировать контрольные процедуры. Это дополняет функции встроенной диагностики, реализованные во встроенном программном обеспечении аппаратуры ТПТС-СБ. Были пересмотрены сложившиеся подходы к проведению наладки и периодических проверок оборудования, принятые для систем предыдущих поколений ТПТС, а также были внедрены новые режимы работы оборудования.

Проведен анализ эксплуатационных документов АЭС, был учтён опыт наладки и эксплуатации действующих АЭС. Результатом этого анализа стала выработка рекомендаций для учета технических особенностей комплекса средств автоматизации ТПТС-СБ при наладке и периодических проверках УСБ.

В итоге была получена программная реализация режимов работы оборудования ТПТС-СБ и соответствующих режиму реакций на входные и выходные данные, разработаны инструменты и рекомендации по наладке и проверках УСБ, сформирован новейший подход к тестированию программно-технических комплексов УСБ на всех этапах жизненного цикла АЭС. Особенности аппаратуры ТПТС-СБ, обеспечивающие проведение наладки и проверок УСБ, успешно апробированы во время ПНР и ППР энергоблока №1 Белорусской АЭС.

Список литературы

1. Системы контроля и управления, важные для безопасности. Общие требования.- М.: Стандартинформ, 2012.
2. ГОСТ Р МЭК 61226-2011 Системы контроля и управления, важные для безопасности. Классификация функций контроля и управления.- М.: Стандартинформ, 2011.
3. ГОСТ Р МЭК 60709-2011 Системы контроля и управления, важные для безопасности. Разделение.- М.: Стандартинформ, 2011.