

ИНТЕРФЕЙСНЫЕ ПРОГРАММНЫЕ КАНАЛЫ КРУПНОМАСШТАБНЫХ СИСТЕМ В АСУ ТП АЭС

Бывайков М.Е.

*Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН
poletik@ipu.ru*

Аннотация. Рассматриваются методы программирования интерфейсных каналов обмена данными, входящих в программное обеспечение шлюзов между системами верхнего уровня и системами нижнего уровня АСУ ТП АЭС. Описываются структура пакетов данных в шлюзах, способы обмена данными и алгоритмы реализации этих способов.

Ключевые слова: атомная электростанция (АЭС), автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП), система верхнего уровня (СВУ), интерфейсные шлюзовые программные каналы.

Введение

Автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП) атомных электростанций (АЭС) является крупномасштабной промышленной системой. Система верхнего уровня (СВУ) выполняет функции интегрирующей подсистемы АСУ ТП. Важный этап разработки АСУ ТП АЭС состоит в программировании интерфейсных каналов обмена данными между СВУ и смежными системами нижнего уровня (СНУ) АСУ ТП АЭС. В данной работе рассматриваются интерфейсные каналы применительно к программному продукту [1,2], разработанному в Институте проблем управления им. В.А.Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН). Далее будем называть этот программный продукт программным обеспечением (ПО) СВУ.

В состав СНУ АСУ ТП АЭС входят шлюзы, являющиеся важным звеном программно-технических каналов обмена данными с СВУ. ПО шлюзов реализует программный интерфейс между ПО СВУ и ПО СНУ, изготовленными на базе различных систем автоматизации нижнего уровня.

В данной работе описываются методы программирования интерфейсных каналов обмена данными между СВУ и СНУ на базе системы автоматизации нижнего уровня «Типовые программно-технические средства» (ТПТС), которые разрабатываются и изготавливаются Всероссийским научно-исследовательским институтом автоматики им. Н.Л.Духова РосАтома [3]. СНУ на базе ТПТС составляют значительную часть подсистем АСУ ТП энергоблоков АЭС «Бушер-1» (Иран) и «Куданкулам-1,2» (Индия), введенных в эксплуатацию, а также строящихся энергоблоков «Куданкулам-3,4».

1 Структура интерфейсных программных каналов между СВУ и СНУ АСУ ТП АЭС

По интерфейсным программным каналам между ПО СВУ и СНУ АСУ ТП АЭС передаются следующие типы данных:

- входные данные СВУ, являющиеся оперативной информацией о состоянии технологических процессов АЭС для отображения на автоматизированных рабочих местах (АРМ) операторов СВУ (специалистов, осуществляющих контроль и управление АЭС), а также информацией для записи в архивы СВУ;
- выходные данные СВУ, которые включают передачу в СНУ команд управления, введенных операторами, и запросы входных данных из СНУ.

На рис.1 представлена схема интерфейсных программных каналов между ПО *N* функциональных модулей СНУ и ПО, следующих функциональных подсистем СВУ:

- информационно-управляющую систему реакторного отделения (ИУРО);
- информационно-управляющую систему турбинного отделения (ИУТО);
- информационно-управляющую систему неоперативного контура управления (ИУН);
- информационную систему администрирования технических и программных средств (АТПС) АСУ ТП.

Интерфейсные программные каналы реализованы также между ПО функциональных модулей СНУ и ПО системы регистрации важных параметров эксплуатации (СРВПЭ - «черным ящиком»).

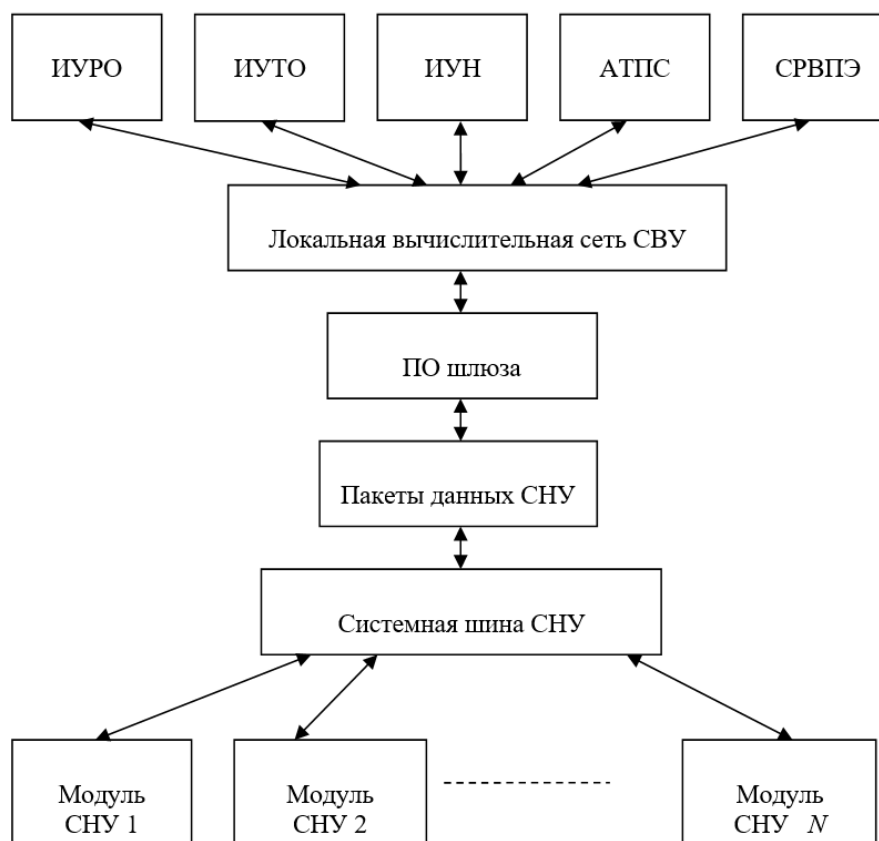


Рис. 1. Схема интерфейсных программных каналов между ПО СВУ и ПО СНУ

Связь технических средств подсистем СВУ со шлюзами осуществляется с использованием сетевого оборудования СВУ, реализующего интерфейсные каналы локальной вычислительной сети (ЛВС) Ethernet.

ПО шлюза обменивается с ПО функциональных модулей СНУ информационными сообщениями (пакетами данных), посылаемыми из ПО функциональных модулей СНУ в ПО шлюза и в обратном направлении.

Для связи шлюзов с техническими средствами функциональных моделей СНУ используется системная шина СНУ [3].

Состав СНУ АСУ ТП зависит от конкретного энергоблока АЭС. Рассмотрим интерфейсные программные каналы между ПО СВУ и ПО СНУ на базе ТПТС на примере АЭС «Куданкулам-1,2» (Индия).

ПО СВУ обменивается данными со следующими СНУ на базе ТПТС:

- системой контроля и управления (СКУ) реакторного отделения;
- СКУ турбинного отделения;
- СКУ турбогенератора;
- СКУ электрической части системы регулирования;
- СКУ спецводоочистки;
- СКУ системы вентиляции;
- системой автоматической противопожарной защиты.

2 Элементы интерфейсных программных каналов между СВУ и СНУ АСУ ТП АЭС

В ПО СВУ и ПО СНУ для контроля и управления технологическими процессами АЭС в АСУ ТП используются следующие основные типы элементов технологических процессов:

- датчик аналогового параметра;
- датчик дискретного параметра;
- сигнализация (аварийная, предупредительная и др.);
- запорная арматура;
- насос;
- электронагреватель;

- регулирующая арматура;
- регулятор;
- переключатель.

Для отображения диагностической информации о состоянии СНУ на АРМ подсистемы АТПС СВУ используются следующие основные типы элементов АСУ ТП:

- функциональный модуль СНУ;
- программный канал функционального модуля СНУ;
- приборная стойка (шкаф) СНУ;
- сигнал о неисправности СНУ.

Функциональный модуль СНУ соответствует элементу технических средств, установленному в приборной стойке СНУ. Программный канал функционального модуля СНУ соответствует одному из элементов технологических процессов, подключенных к этому функциональному модулю СНУ.

В приборную стойку СНУ могут быть установлены следующие типы функциональных модулей, которые могут быть запрограммированы для заданного числа соответствующих программных каналов:

- модуль обработки аналоговых параметров;
- модуль обработки дискретных параметров;
- модуль управления запорными арматурами и насосами;
- модуль управления регулирующими арматурами и регуляторами;
- модуль противоаварийной автоматики;
- модуль группового управления.

Базовым элементом данных в интерфейсных программных каналах между ПО СВУ и ПО СНУ АСУ ТП служит понятие сигнала, описывающего один из параметров технологических процессов АЭС [4].

В зависимости от направления обмена данными сигналы могут быть:

- входными, передаваемыми из ПО СНУ в ПО СВУ;
- выходными, передаваемыми в виде команд управления или запросов информации из ПО СВУ в ПО СНУ.

Атрибутами каждого входного сигнала являются:

- уникальный проектный технологический индекс (код);
- текущее значение сигнала (соответствующего параметра);
- метка времени сигнала (время последнего изменения значения параметра);
- признак достоверности значения сигнала;
- признак достоверности метки времени.

В соответствии с типами значений параметров технологических процессов АЭС сигналы ПО шлюза могут быть:

- аналоговыми для значений параметров в виде вещественных чисел с плавающей запятой (точкой);
- дискретными для значений параметров в виде целых чисел, принимающих значения 0 или 1.

Для передачи диагностической информации о состоянии функциональных модулей СНУ применяются входные дискретные векторные сигналы, которые поступают в ПО шлюза в виде целых чисел (слов) и состоят из нескольких бит, образующих элементы вектора. В ПО СВУ эти биты преобразуются в отдельные сообщения сигнализации.

Изменением значения аналогового сигнала является увеличение или уменьшение соответствующего параметра на величину, которая превышает апертуру сигнала, устанавливаемую с целью фильтрации шумов (случайной составляющей) значения параметра. Изменением дискретного сигнала является смена значения соответствующего параметра на противоположное. Изменением дискретного векторного сигнала является изменение значения хотя бы одного из элементов вектора.

Если в интерфейсном программном канале происходит потеря связи с источником сигнала, то устанавливается признак достоверности значения сигнала, обозначающий отсутствие информации о текущем значении сигнала. Признак достоверности метки времени сигнала устанавливается при отсутствии информации о точном времени последнего изменения значения сигнала в смежной системе (при этом метка времени сигнала устанавливается по системному времени шлюза).

Атрибутами выходных сигналов являются:

- уникальный проектный технологический индекс;
- текущее значение сигнала.

3 Способы обмена данными в интерфейсных программных каналах между СВУ и СЧУ АСУ ТП АЭС

Возможны следующие способы обмена информационными сообщениями (пакетами данных), между ПО шлюза и ПО функциональных модулей СЧУ:

- циклическая передача пакетов данных из ПО СЧУ в ПО шлюза;
- событийная передача пакетов данных из ПО СЧУ в ПО шлюза;
- передача пакетов данных, содержащих запросы входных сигналов, из ПО шлюза в ПО СЧУ;
- передача пакетов данных из ПО СЧУ в ПО шлюза в ответ на запрос данных;
- передача пакетов данных, содержащих команды управления операторов СВУ, из ПО шлюза в ПО СЧУ.

Циклическая передача выполняется с заданным периодом времени и включает все сигналы в пакетах данных этого типа. Событийная передача включает передачу только изменений сигналов (событий): изменений значений сигналов или признаков недостоверностей значений сигналов.

На рис.2 представлена структура типов пакетов данных ТПТС.

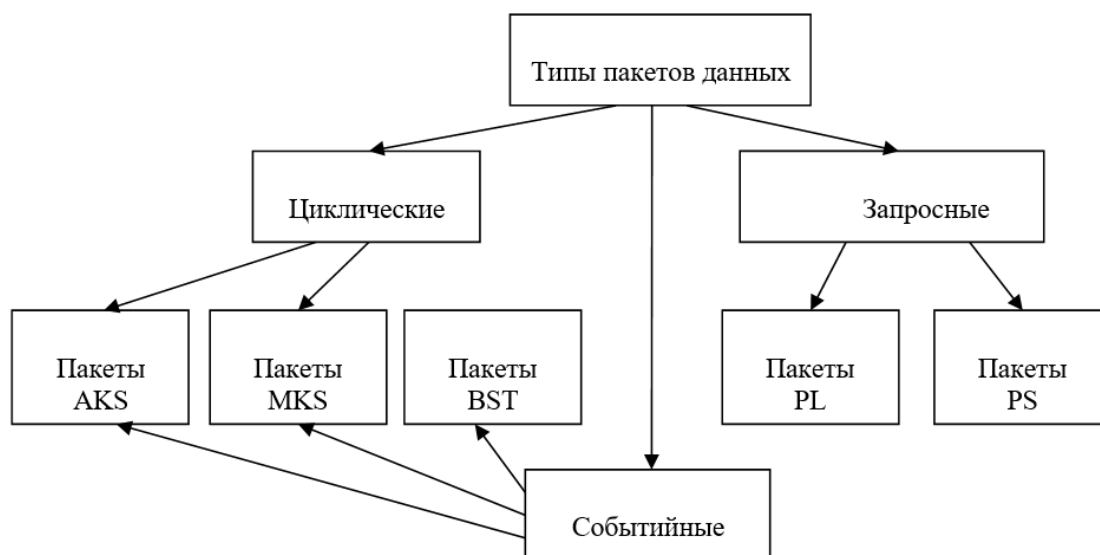


Рис. 2. Структура типов пакетов данных ТПТС

Для передачи данных из ПО СЧУ в ПО шлюза используются следующие типы пакетов данных ТПТС:

AKS - аналоговые сигналы, передаваемые циклически или событийно;

MKS - дискретные сигналы, передаваемые циклически или событийно;

BST – дискретные векторные сигналы, передаваемые событийно;

PL - аналоговые или дискретные векторные сигналы, передаваемые в ответ на запрос из ПО шлюза.

Для передачи команд управления из ПО шлюза в ПО СЧУ используются пакеты данных типа

PS - аналоговые или дискретные сигналы, передаваемые по командам операторов СВУ.

Адрес каждого сигнала в интерфейсных программных каналах включает:

- адрес шлюза в ЛВС СВУ;
- адрес шлюза в системной шине СЧУ;
- адрес модуля управления приборной стойкой в системной шине СЧУ;
- адрес функционального модуля СЧУ в приборной стойке;
- номер программного канала в функциональном модуле;
- тип пакета данных;
- номер пакета данных (уникальный среди пакетов данных одного типа для приборной стойки);

– номер сигнала в пакете данных.

Протокол обмена пакетами данных между ПО шлюза и ПО функциональных модулей СЧУ реализован с учетом:

- большого количества сигналов в базе данных ПО СЧУ;
- ограничений на интенсивность потока данных по системной шине СЧУ.

На рис.3 представлена схема передачи пакетов данных различных типов для входных сигналов ПО шлюза.

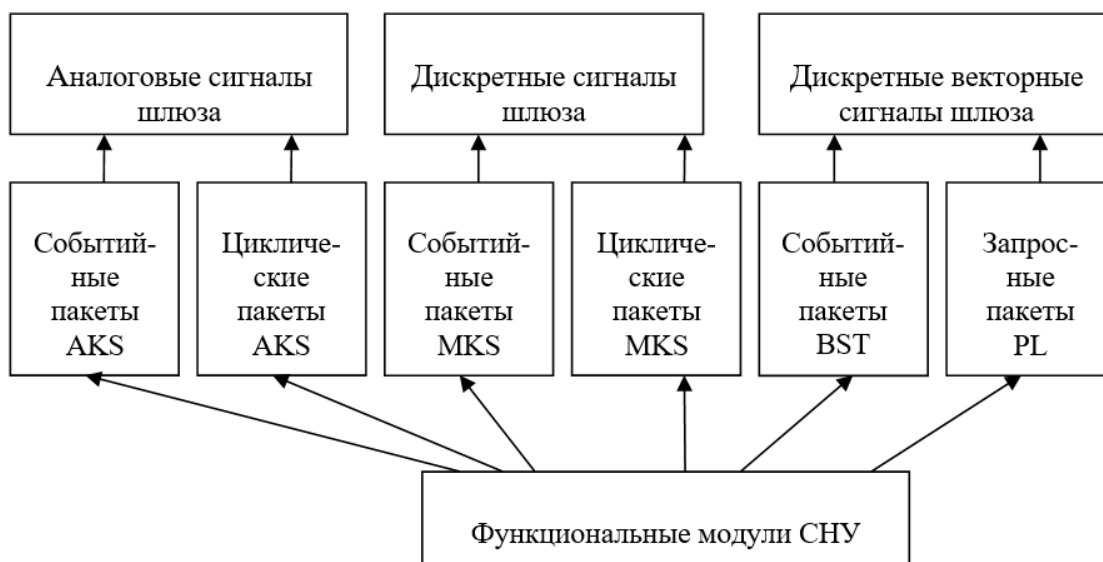


Рис. 3. Схема передачи пакетов данных для входных сигналов ПО шлюза

В качестве основного способа обмена пакетами данных типа AKS и MKS используется событийная передача, поскольку технические характеристики системной шины СЧУ не позволяют установить периоды передачи пакетов данных этого типа циклически, достаточно короткие для требуемой актуальности контроля за протеканием технологических процессов АЭС. Циклический способ передачи пакетов данных типа AKS и MKS используется для тех же сигналов шлюза в качестве дополнительного (резервного) способа передачи с целью предотвращения возможной потери актуальности информации в ПО СБУ в результате потери пакета данных, переданного событийным способом. Такая потеря пакета данных, вызванная неисправностью системной шины СЧУ, может произойти с небольшой вероятностью, но для надежности требуется повторная передача того же пакета данных циклическим способом, гарантирующим поступление информации в СБУ хотя бы и с большей задержкой по времени, чем при событийном способе передачи.

Пакеты данных типа BST могут передаваться только событийным способом. В качестве дополнительного (резервного) способа передачи сигналов, включенных в пакеты данных типа BST, используются запросные пакеты данных типа PL, включающие те же сигналы и циклически запрашиваемые ПО шлюза из ПО функциональных модулей СЧУ.

Часть входных дискретных векторных сигналов может передаваться только с использованием запросных пакетов данных типа PL. Источником запросов для таких пакетов данных типа PL служат запросы информации, поступающие из ПО СБУ в ПО шлюза и далее в ПО функциональных модулей СЧУ. ПО СБУ посылает эти запросы на основе требований к содержанию информации, необходимой оператору на АРМ СБУ в текущий момент времени. Такие запросы передаются через ПО шлюза циклически в течение всего интервала времени, когда соответствующая информация необходима оператору.

Для передачи в ПО функциональных модулей СЧУ команд управления, введенных операторами СБУ, используются выходные аналоговые и дискретные сигналы, передаваемые из ПО шлюза в составе пакетов данных типа PS.

4 Оценка потоков данных в системной шине СНУ

В процессе проектирования АСУ ТП энергоблока АЭС и последующих пуско-наладочных работах необходимо установить параметры интерфейсных программных каналов обмена данными между ПО шлюза и ПО СНУ, включающие:

- количество шлюзов в СНУ;
- распределение сигналов СВУ по шлюзам;
- периоды для циклической передачи пакетов данных.

Одно из основных требований при таком проектировании состоит в том, чтобы поток данных (объем информации, передаваемый в единицу времени) по системной шине СНУ не превышал максимально допустимую загрузку шины. Введем обозначения для максимально возможных потоков данных различных типов: A - для циклической передачи пакетов данных, B - для событийной передачи пакетов данных, C - для передачи пакетов данных по запросу. Тогда требование к загрузке системной шины СНУ можно записать в виде:

$$(1) \quad A + B + C \leq D$$

где D - максимально допустимая загрузка системной шины СНУ.

Постоянный во времени поток данных в пакетах, поступающих в ПО шлюза циклически, определяется формулой:

$$(2) \quad A = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M (V_{nm} / P_{nm})$$

где V_{nm} - объем информации для m -ого поступающего циклически пакета данных ($m=1, 2, \dots, M$) n -го типа ($n=1, 2, \dots, N$); P_{nm} - период передачи этого пакета данных.

Максимальные потоки данных в пакетах, поступающих в ПО шлюза событийно, наблюдаются во время переходных технологических процессов энергоблока АЭС (плановый пуск/останов реактора, срабатывание аварийной защиты, потеря электропитания оборудования и т.д.). Для максимально возможного потока данных в пакетах, поступающих в ПО шлюза событийно, можно записать:

$$(3) \quad B = \sum_{n=1}^N \left(\max_{k=1, 2, \dots, K} (S_{nk} / T_k) \right)$$

где S_{nk} - суммарный объем информации в передаваемых событийно пакетах данных n -го типа ($n=1, 2, \dots, N$), поступающих в ПО шлюза в течение k -го переходного технологического процесса энергоблока АЭС ($k=1, 2, \dots, K$), T_k - длительность (по времени) этого переходного технологического процесса.

Максимальные потоки данных в пакетах, поступающих в ПО шлюза в ответ на запросы, зависят от максимального объема информации, который оператор на СВУ может запросить в единицу времени, используя одну рабочую станцию, и от количества рабочих станций. Для максимально возможного потока данных в пакетах, поступающих в ПО шлюза по запросам, можно записать:

$$(4) \quad C = \sum_{n=1}^N \sum_{l=1}^L (U_{nl} + R_{nl})$$

где U_{nl} - максимальный поток данных в пакете n -го типа ($n=1, 2, \dots, N$), поступающем в ПО шлюза из ПО СНУ в ответ на запрос оператора с l -ой рабочей станции СВУ ($l=1, 2, \dots, L$), R_{nl} - максимальный поток данных в пакете n -го типа, посылаемых из ПО шлюза в ПО СНУ в результате ввода команд управления оператором на l -ой рабочей станции СВУ.

Заключение

Рассмотрены методы программирования интерфейсных каналов обмена данными между ПО СВУ и СНУ АСУ ТП АЭС на примере системы автоматизации ТПТС. Эти методы реализованы в виде алгоритмов ПО шлюза с использованием языка программирования С.

Многолетний опыт внедрения рассмотренных методов позволяет рекомендовать их разработчикам не только АСУ ТП АЭС, но также автоматизированных систем контроля и управления другими сложными техническими объектами.

Литература

1. Бывайков М.Е., Жарко Е.Ф., Менгазетдинов Н. Э., Полетыкин А.Г., Прангивили И.В., Промыслов В.Г. Опыт проектирования и внедрения системы верхнего блочного уровня АСУ ТП АЭС // Автоматика и Телемеханика, 2006, № 5, с. 65-79.
2. Менгазетдинов Н. Э., Бывайков М.Е., Зуенков М.А., Промыслов В.Г., Полетыкин А.Г. и др. Комплекс работ по созданию первой управляющей системы верхнего блочного уровня АСУ ТП для АЭС "Бушер" на основе отечественных информационных технологий [Электронный ресурс]: монография. М.: ИПУ РАН, 2013. – ISBN 978-5-91450-130-0.
3. Бармаков Ю.Н. Средства автоматизации, разрабатываемые ВНИИА в рамках программы развития атомной энергетики России // Автоматизация в промышленности, 2006, , № 8, с. 49-51.
4. Бывайков М.Е., Акафьев К.В., Байбулатов А.А., Зуенкова И.Н. База данных системы верхнего блочного уровня АСУ ТП АЭС: структура и методика разработки // Ядерные измерительно-информационные технологии, 2014, , № 4, С. 24-31.