

DOI:

УНИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ОБМЕНА ДАННЫМИ ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ КРУПНОМАСШТАБНЫХ СИСТЕМ В АСУ ТП АЭС

Бывайков М.Е.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва
poletik@ipu.ru

Аннотация: Рассматриваются методы унификации алгоритмов обмена данными между системой верхнего уровня (СВУ) и различными системами нижнего уровня (СНУ), входящими в АСУ ТП АЭС. Описываются состав шлюзового программного обеспечения СВУ, структура данных и протокол обмена данными.

Ключевые слова: атомная электростанция (АЭС), автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП), система верхнего уровня (СВУ), алгоритмы обмена данными, программное обеспечение, шлюзовой интерфейс.

Введение

Автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП) атомных электростанций (АЭС) представляет собой крупномасштабную промышленную систему. Интегрирующим ядром АСУ ТП АЭС служит система верхнего уровня (СВУ). В данной работе рассматривается программный продукт [1,2], разработанный в Институте проблем управления им. В.А.Трапезникова Российской академии наук. Далее будем называть этот программный продукт программным обеспечением (ПО) СВУ. Важная часть работ по проектированию АСУ ТП АЭС заключается в разработке алгоритмов обмена данными между ПО СВУ и ПО смежных систем нижнего уровня (СНУ) АСУ ТП. На этапе разработки ПО АСУ ТП АЭС на основе этих алгоритмов реализуются сетевые протоколы обмена данными.

В состав СНУ АСУ ТП АЭС входят шлюзы, выполняющие обмен данными с СВУ. АСУ ТП АЭС включает программно-технические комплексы различных заводов-изготовителей на базе разнообразных систем автоматизации нижнего уровня. В этих условиях становится актуальной задача унификации алгоритмов обмена данными с ПО СВУ.

Данная работа содержит краткое описание методов унификации алгоритмов обмена данными между ПО СВУ и ПО СНУ, используемых в АСУ ТП энергоблоков АЭС «Бушер-1» (Иран) и «Куданкулам-1,2» (Индия), введенных в эксплуатацию, а также строящихся энергоблоков «Куданкулам-3,4».

1 Структура связей ПО СВУ с ПО СНУ АСУ ТП АЭС

ПО СВУ и ПО смежных СНУ АСУ ТП АЭС обмениваются следующими типами данных:

- ПО СВУ получает от ПО СНУ оперативную информацию о состоянии технологических процессов АЭС с целью предоставления этой информации операторам (специалистам, осуществляющим контроль и управление технологическими процессами АЭС), а также с целью записи этой информации в архив СВУ;

- ПО СВУ передает в ПО СНУ команды управления технологическим оборудованием АЭС, введенные операторами.

Состав ПО смежной СНУ зависит от конкретного энергоблока АЭС. Рассмотрим связи ПО СВУ с ПО СНУ на примере энергоблоков АЭС «Куданкулам-1,2» (Индия).

СВУ обменивается данными со следующими смежными СНУ АСУ ТП АЭС:

- системой контроля и управления (СКУ) реакторного отделения;
- управляющей системой безопасности технологической;
- аппаратурой системы управления и защиты;
- комплексом электрооборудования системы управления и защиты;
- системой контроля, управления и диагностики реакторной установки;
- системой технической диагностики главных циркуляционных насосных агрегатов;
- СКУ турбинного отделения;
- СКУ электрической части;
- СКУ спецводоочистки;
- СКУ системы вентиляции;
- системой автоматической противопожарной защиты;
- системой радиационного контроля.

ПО СВУ также обменивается данными с ПО расчетных задач, установленным на технических средствах СВУ:

- системой автоматизированного контроля остаточного ресурса реакторной установки;
- задачей расчета технико-экономических показателей.

Связь технических средств СВУ с техническими средствами шлюзов смежных СЧУ АСУ ТП АЭС осуществляется с использованием сетевого оборудования, реализующего каналы связи сети Ethernet.

2 Состав алгоритмов обмена данными

В ПО шлюзов используются алгоритмы обмена данными между ПО СВУ и ПО СЧУ:

- унифицированные алгоритмы, не зависящие от конкретной смежной СЧУ АСУ ТП АЭС;
- специализированные алгоритмы, разрабатываемые для конкретной СЧУ.

Обмен данными между ПО шлюза и ПО СВУ реализуется на основе сетевого протокола TCP/IP [3] и базовой библиотеки сетевых функций, входящих в состав программного продукта [1,2].

Внутри ПО шлюза обмен данными между унифицированными и специализированными алгоритмами реализуется через общую оперативную память шлюза с использованием интерфейсного ПО, входящего в состав программного продукта [1,2].

На рис.1 представлена схема обмена данными между ПО N элементов смежной СЧУ АСУ ТП и ПО следующих подсистем СВУ:

- программным обеспечением серверов (ПОС) реакторного отделения (РО);
- ПОС турбинного отделения (ТО);
- ПОС неоперативного контура управления (НКУ);
- программным обеспечением рабочих станций (ПОРС) системы администрирования технических и программных средств (АТПС).
- ПО системы регистрации важных параметров эксплуатации (СРВПЭ) - «черным ящиком».

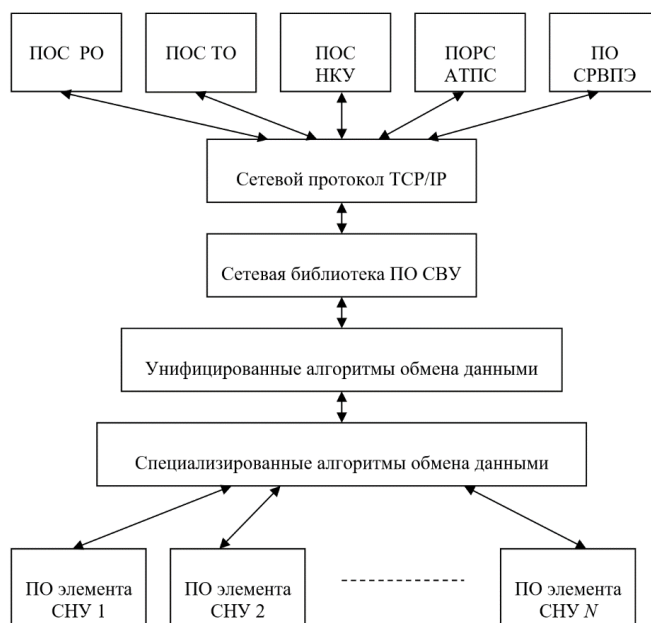


Рис. 1. Схема обмена данными между ПО СВУ и ПО СЧУ АСУ ТП АЭС

3 Структура входных и выходных данных

Основным элементом данных, которыми обмениваются ПО СВУ и ПО смежных СЧУ АСУ ТП АЭС, служит понятие сигнала, описывающего один из параметров технологических процессов АЭС. В базе данных ПО СВУ [4] сигналы идентифицируются уникальным проектным технологическим кодом.

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

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

В зависимости от направления обмена данными сигналы могут быть:

- входными, передаваемыми из ПО смежной СЧУ АСУ ТП АЭС в ПО СВУ;
- выходными, передаваемыми в виде команд управления операторов из ПО СВУ в ПО смежных СЧУ.

Для каждого шлюза база данных ПО СВУ содержит массивы проектных технологических кодов сигналов всех типов. В массиве сигналов одного типа для конкретного шлюза каждый сигнал идентифицируется уникальным номером, однозначно соответствующим его проектному технологическому коду.

Атрибуты каждого входного сигнала включают:

- номер сигнала в соответствующем массиве проектных технологических кодов;
- текущее значение сигнала (соответствующего параметра технологического процесса АЭС);
- время последнего изменения значения сигнала;
- признак достоверности текущего значения сигнала;
- признак достоверности для времени последнего изменения значения сигнала.

Изменение значения входного аналогового сигнала - это увеличение или уменьшение соответствующего параметра технологического процесса на величину, которая превышает апертуру сигнала, устанавливаемую в базе данных ПО шлюза с целью фильтрации шумов (случайной составляющей) значения параметра. Изменение значения дискретного сигнала - это изменение двоичного значения соответствующего технологического параметра на противоположное.

Если происходит потеря связи ПО СВУ с источником сигнала в ПО смежной СЧУ АСУ ТП, то в ПО шлюза устанавливается признак достоверности значения сигнала, обозначающий отсутствие информации о текущем значении сигнала. Признак достоверности для времени последнего изменения значения сигнала устанавливается при отсутствии информации об этом моменте времени от ПО смежной СЧУ (при этом время изменения значения сигнала устанавливается по системному времени ПО шлюза).

Атрибутами выходных сигналов (команд управления операторов СВУ) являются:

- номер сигнала в соответствующем массиве проектных технологических кодов;
- текущее значение сигнала.

Особенностью АСУ ТП АЭС является большое количество входных сигналов, что при интенсивных потоках данных приводит к существенному замедлению передачи информации. Для сокращения количества входных сигналов в ПО шлюза используются векторные сигналы, значение которых представляет собой вектор с элементами в виде нескольких чисел.

Входные аналоговые векторные сигналы применяются для данных внутриреакторного контроля. Значением вектора являются показания нескольких датчиков, расположенных в одной сборке тепловыделяющих элементов реактора.

Входные дискретные векторные сигналы применяются для диагностики неисправностей смежных СЧУ, поступают в ПО шлюзов в виде целых чисел (слов) и состоят из нескольких бит, образующих элементы вектора. В ПО СВУ эти биты преобразуются в отдельные сообщения сигнализации на рабочих местах операторов.

На рис.2 представлена структура входных и выходных данных для ПО шлюза.

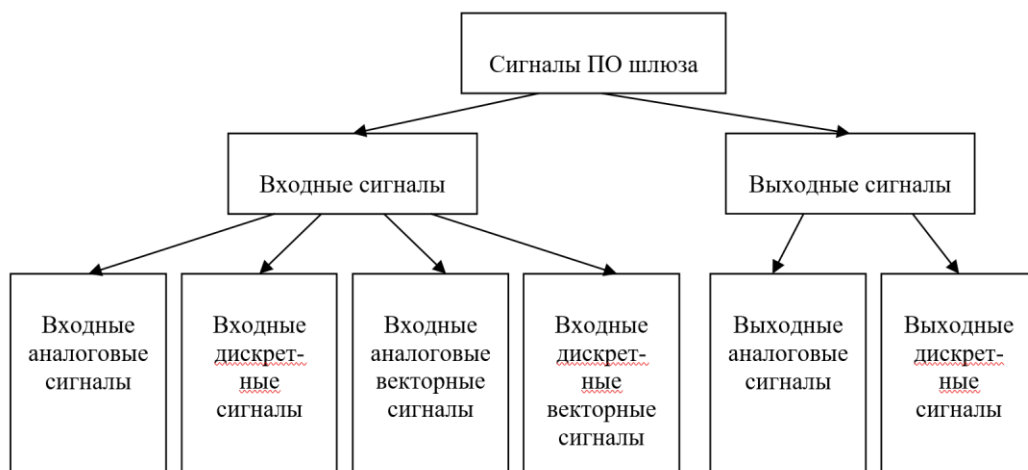


Рис. 2. Структура входных и выходных данных для ПО шлюза

4 Протокол передачи сигналов ПО шлюза

Протокол передачи входных сигналов из ПО шлюза в ПО СВУ, реализованный на основе унифицированных алгоритмов обмена данными, можно кратко сформулировать следующим образом:

- вначале после открытия каналов связи ПО шлюза посылает в ПО СВУ все сигналы, относящиеся к этому шлюзу;
- далее ПО СВУ циклически посылает в ПО шлюза запросы прислать данные, обновившиеся после предыдущего запроса;
- в ответ на каждый поступающий из ПО СВУ запрос ПО шлюза посылает все сигналы, изменившиеся после предыдущего запроса.

Интенсивность поступления запросов данных из ПО СВУ и посылки ответов из ПО шлюза зависит от скорости обработки данных в ПО СВУ и ПО шлюза. Применяемый унифицированный алгоритм передачи входных сигналов позволяет избежать неконтролируемого накопления очередей необработанных данных в буферах сетевых каналов связи в условиях большой интенсивности потока данных из ПО смежных СЛУ АСУ ТП в ПО СВУ.

Поскольку большая интенсивность потока команд управления операторов СВУ невозможна, команды управления посылаются из ПО СВУ в ПО шлюза без ожидания их запросов (для ускорения). ПО шлюза в ответ на команду управления, поступившую из ПО СВУ, посылает сигнал для записи в архив СВУ.

В ПО шлюза входные сигналы передаются из специализированных алгоритмов обмена данными в унифицированные алгоритмы обмена данным (и далее в ПО СВУ) с использованием общей оперативной памяти шлюза, в состав которой входят:

- массивы текущих значений входных сигналов;
- архивные кольцевых буферов, предназначенных для сохранения данных о передаваемых входных сигналах в порядке их поступления.

Каждый массив текущих значений входных сигналов состоит из элементов, описывающих все сигналы соответствующего типа (аналоговые, дискретные, векторные) для конкретного шлюза. Запись данных в массивы текущих значений входных сигналов выполняется при получении ПО шлюза обновленных значений соответствующих параметров технологических процессов или при изменении признаков достоверности значений сигналов. Считывание данных из массивов текущих значений входных сигналов выполняется при дальнейшей передаче сигналов из ПО шлюза в ПО СВУ.

Каждому массиву текущих значений входных сигналов соответствует архивный кольцевой буфер, предназначенный для сохранения предыдущих значений сигналов. Копирование данных из массива текущих значений сигналов в архивный кольцевой буфер выполняется перед обновлением данных в массиве текущих значений при условии, что предыдущее обновление сигнала не было считано из массива текущих значений для дальнейшей передачи в ПО СВУ.

При поступлении из ПО СВУ очередного запроса обновившихся данных ПО шлюза посылает в ответ:

- все данные из массивов текущих значений входных сигналов, обновившиеся после предыдущего запроса;
- все данные из архивных кольцевых буферов входных сигналов, сохраненные после предыдущего запроса.

Совместное использование массивов текущих значений входных сигналов и архивных кольцевых буферов в условиях применения алгоритма передачи данных по схеме «запрос-ответ» позволяет оперативно передавать в ПО СВУ актуальные данные без потерь хронологии поступления данных, которая сохраняется в архиве ПО СВУ.

На рис.3 представлена схема передачи входных сигналов одного типа (аналоговых, дискретных, векторных) из специализированных алгоритмов ПО шлюза в унифицированные алгоритмы с дальнейшей передачей в ПО K элементов СВУ. При передаче входных сигналов в унифицированных алгоритмах ПО шлюза для каждого элемента ПО СВУ, с которым установлена связь, используются отдельные массив текущих значений сигналов и архивный кольцевой буфер (на рис.3 массивы и буфера с номерами $1, 2, \dots, K$). Из специализированных алгоритмов ПО шлюза входные сигналы передаются в унифицированные алгоритмы через общую оперативную память шлюза с использованием массива текущих значений сигналов и архивного кольцевого буфера, обозначенных на рис.3 номером 0 .

Поскольку поток команд управления операторов СВУ не может иметь большую интенсивность, передача выходных сигналов из ПО СВУ в унифицированные алгоритмы ПО шлюза и далее в

специализированные алгоритмы выполняется с использованием только кольцевых буферов. Унифицированные алгоритмы ПО шлюза записывают в эти кольцевые буферы все выходные сигналы соответствующего типа в порядке их поступления из ПО СВУ для их дальнейшего считывания специализированными алгоритмами.

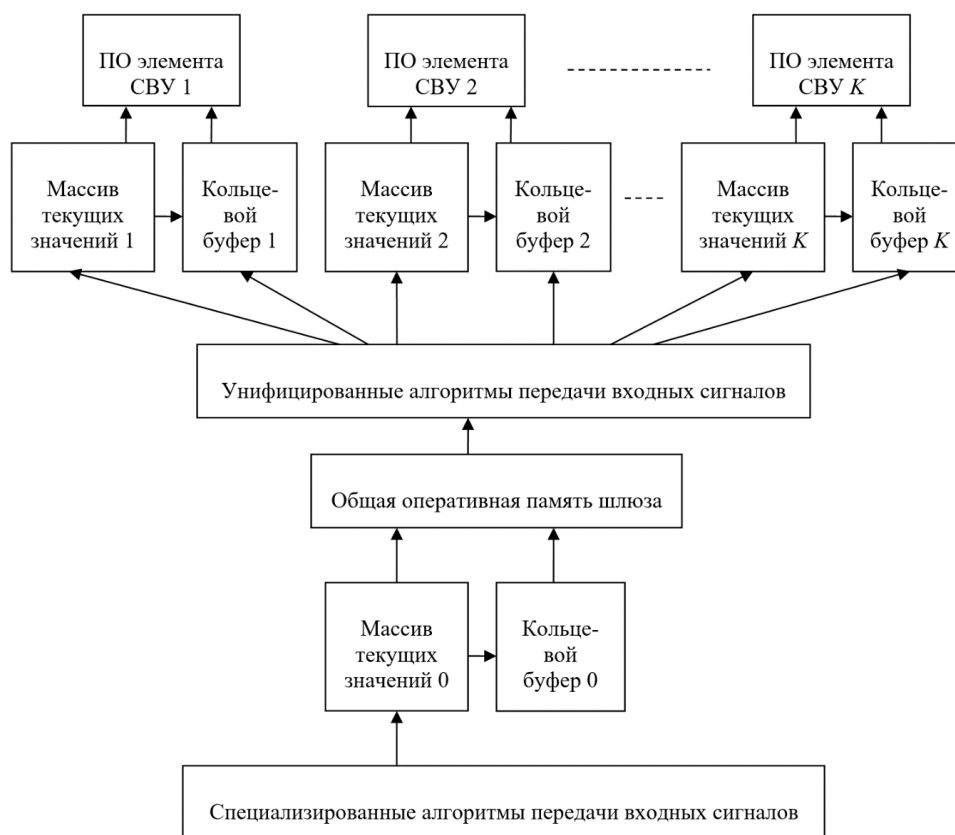


Рис. 3. Схема передачи входных сигналов через ПО шлюза

5 Настройка параметров унифицированных алгоритмов обмена данными

В процессе проектирования АСУ ТП энергоблока АЭС и последующих пуско-наладочных работах необходимо настроить параметры унифицированных алгоритмов обмена данными между ПО СВУ и ПО смежных СЧУ. Настраиваемые параметры этих унифицированных алгоритмов включают размеры массивов текущих значений сигналов и архивных кольцевых буферов для каждого типа сигналов.

Размеры массивов текущих значений входных сигналов каждого типа устанавливаются не менее, чем максимально возможное количество сигналов этого типа на конкретном шлюзе смежной СЧУ АСУ ТП АЭС.

Размеры архивных кольцевых буферов входных сигналов должны быть установлены так, чтобы эти буферы не переполнялись в условиях пиковых потоков входных данных большой интенсивности. Переполнение архивных кольцевых буферов приводит к потерям входных данных, передаваемых для записи в архив СВУ. Потоки входных данных большой интенсивности могут возникать во время переходных технологических процессов энергоблока АЭС (плановый пуск/останов реактора, срабатывание аварийной защиты, потеря электропитания оборудования и т.д.). Во время стационарной работы энергоблока АЭС на проектной мощности при потоках входных данных нормальной интенсивности передача входных сигналов осуществляется в основном с использованием только массивов текущих значений сигналов, с редким использованием архивных кольцевых буферов.

Обозначим для одного из типов входных сигналов (аналоговых, дискретных, векторных) и для ПО конкретного шлюза:

N - количество сигналов этого типа;

R - максимально возможный интервал времени между посылками обновившихся сигналов из ПО шлюза в ПО СВУ в ответ на запросы;

F_0 - проектный поток входных сигналов этого типа, передаваемых через этот шлюз при стационарной работе энергоблока АЭС на проектной мощности (измеряется в количестве сигналов, передаваемых за единицу времени);

F_i - проектный поток входных сигналов этого типа, передаваемых через этот шлюз при i -ом переходном технологическом процессе энергоблока АЭС ($i = 1, 2 \dots M$);

T_i - максимальная проектная продолжительность i -го переходного технологического процесса (измеряется в единицах времени);

C - размер архивного кольцевого буфера для этого типа сигналов и этого шлюза (измеряется в количестве сигналов, которые могут храниться в этом буфере).

Передача входных сигналов с использованием только массива текущих значений сигналов без использования архивного кольцевого буфера возможна при условии:

$$(1) \quad N / R \geq \max_{i=1,2,\dots,M} F_i$$

Для передачи входных сигналов без потерь данных проектный размер архивного кольцевого буфера должен удовлетворять условию:

$$(2) \quad C \geq \max_{i=1,2,\dots,M} ((F_i - F_0)T_i)$$

Заключение

В данной работе рассмотрены методы унификации алгоритмов обмена данными между ПО СВУ и ПО смежных СЧУ, входящих в АСУ ТП АЭС. Эти алгоритмы реализованы в шлюзовом программном интерфейсе с использованием языка программирования С.

Многолетний опыт внедрения рассмотренных алгоритмов 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., Прангшвили 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. Фейт С. TCP/IP: Архитектура, протоколы, реализация (включая IP версии 6 и IP Security). М: Издательство «Лори», 2000. – ISBN 0-07-021389-5.
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.