

# Информационно-измерительная система реакторной установки СМ-3

*Александр Токарев, Владимир Придачин, Павел Стороженко,  
Алексей Кривошеев, Алексей Еникеев, Алексей Покровский*

**В статье приводятся сведения о разработке информационно-измерительной системы реакторной установки СМ-3, описаны особенности внедрения системы на объекте и даны результаты эксплуатации аппаратно-программных средств, входящих в её состав.**

## Введение

Ещё сравнительно недавно в Государственном научном центре Российской Федерации НИИ Атомных реакторов (ГНЦ РФ НИИАР) существовала ситуация, когда в информационно-измерительных системах реакторных установок (ИИС РУ) функционировала в основном физически и морально устаревшая техника, не удовлетворявшая складывавшимся требованиям безопасности. По мере ужесточения требований регламентирующих организаций ситуация лишь усугублялась, и становилось очевидным, что задачи автоматизации реакторных установок института стали весьма актуальными и нуждались в решении. Возможными виделись, как минимум, два пути решения.

Первый путь предполагал выбор известной своими успехами в области автоматизации реакторных установок фирмы и покупку у нее системы «под ключ». Положительные и отрицательные стороны данного подхода очевидны, и останавливаться на них мы не будем.

Второй путь заключался в проведении разработки силами специалистов института, имеющих опыт создания как автоматизированных систем для научных исследований, так и систем промышленной автоматизации. Появление же в последнее время широчайшего спектра программных инструментальных и техниче-

ских средств для создания информационно-измерительных систем позволяет сравнительно небольшому коллективу квалифицированных специалистов решать задачи данного класса.

В нашем случае избрания второго пути априорно полагалось, что системы должны разрабатываться на основе уже существующих программно-аппаратных средств. Для адекватного их выбора необходимо было сформулировать соответствующие требования. Общими для всех программно-аппаратных средств стали высокая надежность, взаимная совместимость («открытость»), массовость (аналогичные по характеристикам средства на рынке представлены разными производителями), соответствие международным стандартам качества, доступность и приемлемая стоимость.

Аппаратная платформа верхнего уровня ИИС должна иметь достаточную вычислительную мощность, обладать возможностью дальнейшего наращивания, быть пригодной для продол-

жительной непрерывной работы в промышленных условиях, отличаться малым сроком восстановления работоспособности после отказа, быть IBM PC совместимой.

С точки зрения достижения максимальной надежности и живучести создаваемых систем, предпочтительнее использовать сетевую топологию типа «звезда» с детерминированным принципом доступа. Коммуникационное оборудование должно легко интегрироваться с используемой аппаратной и программной платформами; немаловажным виделось наличие сертификации сетевого и коммуникационного оборудования разработчиком используемой операционной системы.

Операционная система — многозадачная, многопользовательская, реального времени (в смысле детерминированности поведения), со встроенной поддержкой сетей по возможности изначально ориентированная на задачи промышленной автоматизации и при этом не требующая излишних системных ресурсов.

Инструментальные программные средства создания ИИС должны поддерживать работу в графической многооконной среде, обладать разнообразными возможностями как по представлению информации, так и по подключению аппаратных средств нижнего уровня системы, поддерживать резервирование данных и, естественно, работать в выбранной операционной системе.

Аппаратные средства нижнего уровня (контроллеры) должны быть компактными, со встроенными возможностями контроля работоспособности и



Здание, в котором расположена реакторная установка

обширной номенклатурой карт ввода-вывода, IBM PC совместимыми.

Нормирующие преобразователи должны отличаться компактностью и малым потреблением, обеспечивать гальваническую развязку измерительных цепей, соответствовать всему разнообразию возможных входных сигналов и иметь согласованный с вторичной измерительной аппаратурой выход, а также обладать возможностью переконфигурации входного диапазона и простоты установки.

Проведенные нами сбор и анализ информации о современных средствах создания ИИС и АСУ ТП позволили утверждать, что аппаратно-программные средства, удовлетворяющие большинству перечисленных требований, существуют: это IBM PC совместимые промышленные компьютеры на основе пассивной объединительной панели, операционная система QNX, сетевой протокол ArcNet, инструментальный пакет RealFlex, контроллеры с картами расширения линии MicroPC, модули ADAM серии 3000.

Данный набор средств, безусловно, не может быть оптимальным, однако для решения непосредственно стоящих перед нами задач на среднесрочную перспективу он, как нам видится, является вполне приемлемым. К тому же предложенная консолидация аппаратно-программных средств, перманентно находящихся в состоянии развития, характеризуется и разумными финансовыми затратами.

Описанный подход нашел свое воплощение в ряде подготовленных и запущенных в эксплуатацию информационно-измерительных систем реакторных установок ГНЦ РФ НИИАР, а одним из первых объектов реализации данной концепции стал исследовательский ядерный реактор СМ-3.

### ОБЪЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ

Реактор СМ вступил в строй в октябре 1961 года. За сорокалетний срок работы он неоднократно был реконструирован с целью увеличения его экспериментальных возможностей и повышения безопасности эксплуатации. Основная цель последней «большой» реконструкции (1991-1992 гг.) — приведение всех систем реактора в соответствие с современными требованиями безопасности, в том числе установка системы контроля параметров реактора на базе управляющего вычислительного комплекса (УВК) ПС-1001.

Реактор СМ представляет собой корпусной водо-водяной реактор, работающий на промежуточных нейтронах. Уникальность реактора СМ-3 состоит в том, что он является одним из самых высокопоточных среди всех исследовательских реакторов мира, что позволяет проводить на нем ускоренные испытания материалов до больших значений флюенса нейтронов, получать легкие трансурановые элементы и изотопы с очень высокой активностью, недоступные при использовании других реакторов. Тепловая мощность реакторной установки СМ-3 — 100 МВт, максимальная плотность потока тепловых нейтронов —  $2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ .

Объем сигналов, соответствующих контролируемому параметрам РУ СМ-3, следующий:

- аналоговых сигналов среднего уровня (0-5 мА/В, 0-10 В) — 300;
  - сигналов от датчиков температуры — 112;
  - дискретных сигналов от датчиков с выходами типа «сухой» контакт — 240.
- Эксплуатация УВК ПС-1001 выявила целый ряд недоработок, в борьбе с которыми значительно поредел запас ЗИП и несколько пошатнулась вера в отечественное системостроение. Для разрешения сложившейся ситуации к середине 90-х годов было принято решение о замене УВК ПС-1001.

### ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМЕ

Согласно вновь разработанному техническому заданию ИИС РУ СМ-3 период опроса датчиков аналоговых сигналов СУ и дискретных не должен превышать 0,5 секунды, датчиков температуры — 2 секунды; период обновления информации на экранных формах не должен быть более одной секунды. Все измеренные и расчетные параметры РУ должны помещаться в архив и храниться в течение двух кампаний (кампания — период времени между перезагрузками активной зоны реактора), как правило, не более месяца. Количество рабочих мест для оперативного и административного персонала ИИС — 6. Пределы допустимой основной погрешности измерительных каналов (ИК) без учета погрешности датчиков:

- с датчиками температуры — не более 0,4%;
- с датчиками постоянного тока (0-5, 0-10 В) — не более 0,25%;
- с датчиками постоянного тока (0-5 мА) — не более 0,25%.

Несмотря на то что ИИС РУ СМ-3 задумывалась как система, не влияющая на безопасность, в случае выхода ее из строя и невозможности восстановления работоспособности в течение определенного времени необходимо по существующему регламенту проводить остановку реакторной установки. Непланные же остановки РУ крайне нежелательны, поскольку неизбежно ведут к изменению температурного режима и условий облучения, например исследуемых образцов конструкционных материалов, при накоплении изотопов и т.д. Поэтому во избежание подобных негативных последствий в систему должна закладываться определенная избыточность с целью обеспечения парирования любого единичного отказа (за исключением отказа, произошедшего в системе под воздействием мощных внешних факторов, таких как землетрясение, наводнение, падение метеорита и т.п.). Традиционный подход — полное дублирование (троирование) — мера очень действенная, но весьма затратная, а нередко и трудно реализуемая, особенно для подсистем нижнего уровня. Так, например, врезка дополнительных датчиков или замена одинарного чувствительного элемента на дублированный в трубопроводах контуров РУ подчас невозможна из-за причин как технического, так и организационного характера. Таким образом, в нашей ситуации с единственным (в большинстве случаев) источником сигнала, несущим информацию о каком-либо параметре РУ, введение избыточности может найти свое воплощение в создании двух квазинезависимых каналов, один из которых является основным рабочим, а второй находится в «горячем» резерве. Решение о переходе с одного канала на другой должно поддерживаться диагностикой аппаратного обеспечения.

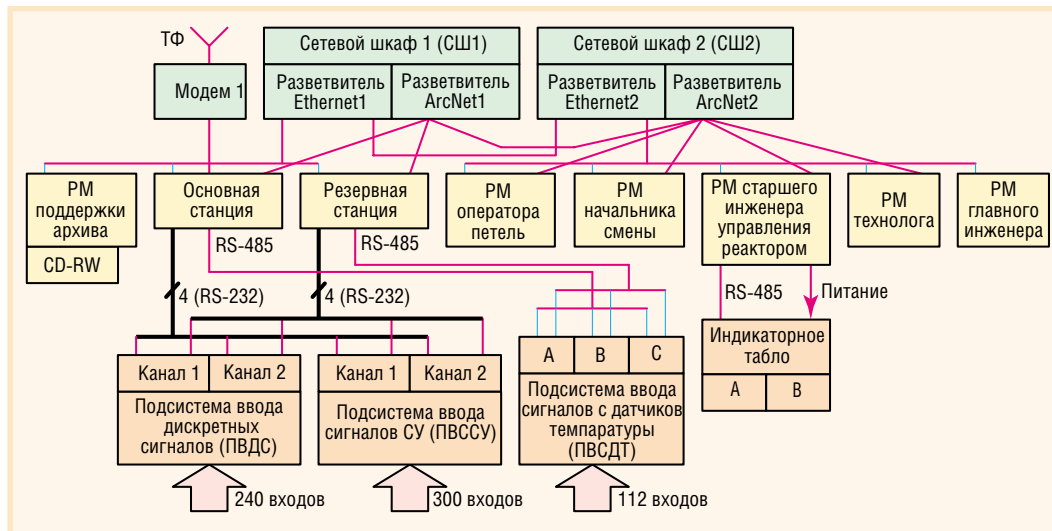
Сжатый срок проведения работ по вводу в эксплуатацию ИИС и желательная простота обслуживания подсистем нижнего уровня диктовали наличие в их составе средств оперативного отображения значений сигналов. Это позволило проводить автономную отладку и опробование нескольких подсистем параллельно и совмещать данные процедуры с другими работами.

Наличие большого количества измерительных каналов аналоговых сигналов СУ с достаточно длинными линиями связи требует подавления наводимой на них помехи промышленной частоты и формирования полосы пропус-

кания полезного сигнала. Наличие отличающихся друг от друга потенциалов «земли», вызванных пространственной компоновкой РУ и присутствием разнообразного мощного электротехнического оборудования, предполагает гальваническое разделение сигналов от аппаратных средств ИИС. Лобовое решение — каждому сигналу свой нормирующий преобразователь для выполнения функции гальванического разделения, фильтрации и формирования полосы пропускания — на наш взгляд, является экономически неоправданным и порождающим дополнительные проблемы обеспечения надежного питания таких преобразователей, а также отвода тепла и увеличения габаритов аппаратуры. Более привлекательно применение простых пассивных фильтров перед аналоговыми коммутаторами и двух- или трехступенчатая коммутация сигналов, направленная на уменьшение количества требуемых для их ввода каналов (АЦП). Гальваническую изоляцию при необходимости можно выполнить непосредственно перед входами АЦП с помощью стандартных модулей, например ADAM-3014 или серии SCM5B фирмы Dataforth, при этом полоса пропускания используемых нормирующих преобразователей должна обеспечивать необходимые динамические параметры как по периоду опроса сигналов, так и по характеру их изменения. Управление процессом коммутации в этом случае также необходимо гальванически изолировать. Аналогичный во многом подход вполне реализуем и для подсистем ввода дискретных сигналов. Однако для ввода сигналов низкого уровня от термопреобразователей сопротивления или термоэлектрических преобразователей присутствие в начале измерительного тракта нормирующего преобразователя является обязательным условием.

Обязательным условием для всех подсистем нижнего уровня является резервированная связь с верхним уровнем ИИС, отсутствие принудительного охлаждения и использование источников бесперебойного питания (ИБП).

Для верхнего уровня системы необходимы атрибутами должны быть дублирование сервера или наличие



Условные обозначения: РМ — рабочее место; ТФ — телефонная линия; СУ — средний уровень классификации значений аналоговых сигналов (0-5 В/мА, 0/4-20 мА, 0-10 В).

Рис. 1. Структурная схема ИИС РУ СМ-3

«горячего» резерва с зеркальной базой данных реального времени и архивом, дублирование локальной сети и питание серверов и компьютеров рабочих мест от ИБП.

Все перечисленные соображения были реализованы при проектировании ИИС РУ СМ-3.

### Структура ИИС РУ СМ-3

ИИС РУ СМ-3 состоит из нижнего и верхнего уровней. Верхний уровень представлен серверами (основной станцией и резервной), рабочими местами (РМ) оператора пелетель, старшего инженера управления реактором, начальника смены, технолога, главного инженера и поддержки архива, индикаторным табло и сетевыми шкафами СШ1, СШ2 с расположенными в них активными разветвителями ArcNet и Ethernet (рис. 1).

Назначение подсистем нижнего уровня — периодическое измерение выходных сигналов датчиков и нормирующих преобразователей, накопление измерительной информации, ее первичная обработка и передача на верхний уровень системы. По типу источников входных сигналов и диапазонам их измерения реализованы три подсистемы нижнего уровня: подсистема ввода дискретных сигналов от датчиков с выходом типа «сухой» контакт (ПВДС), подсистема ввода аналоговых сигналов СУ (ПВССУ) и подсистема ввода сигналов от датчиков температуры (ПВСДТ).

ПВДС и ПВССУ являются двухканальными. Аппаратное обеспечение данных подсистем вместе с ИБП раз-

мещено в шкафах УВК ПС1001 (рис. 2). ПВСДТ выполнена одноканальной, ее аппаратное обеспечение размещено в трех навесных шкафах, ИБП — в сетевом шкафу СШ1 (также шкаф УВК ПС1001).

В ИИС используются ИБП семейства Back-UPS фирмы APC мощностью 200 В·А (в подсистемах нижнего уровня) и мощностью 400 В·А (для рабочих мест верхнего уровня).

Контроллеры, находящиеся в подсистемах нижнего уровня, представляют собой IBM PC совместимые промышленные компьютеры. Связь с серверами осуществляется по последовательным интерфейсам RS-232C для ПВССУ и ПВДС и RS-485 для ПВСДТ, причем каждый контроллер по первому последовательному каналу соединен с основной станцией, а по второму — с резервной станцией. Программное обеспечение контроллеров подсистем нижнего уровня разработано таким образом, что накопленная и обработанная информация передается по тому последовательному каналу, с которого приходит запрос на ее передачу. Это позволяет без дополнительного оборудования поддерживать режим «горячего» резервирования серверов, то есть перенаправлять информацию серверу, находящемуся в «горячем» резерве при выходе из строя основной станции и наоборот.

Алгоритм работы подсистем заключается в непрерывном циклическом опросе всех датчиков и накоплении данных в программных регистрах-аккумуляторах. При поступлении по любому из двух последовательных кана-



Рис. 2. Шкафы с аппаратурой ПВДС и ПВССУ

лов сигнала от сервера на передачу данных происходит формирование передаваемой последовательности и собственно передача ее в активный последовательный канал (скорость передачи данных для всех подсистем — 38400 бод). Для предотвращения заклинивания программ во время опроса стробируются сторожевые таймеры.

Программное обеспечение (ПО) подсистем нижнего уровня на базе ОС QNX для ПВДС и ПВССУ, DOS для ПВСДТ располагается во встроенной флэш-памяти контроллеров и автоматически загружается в ОЗУ при включении питания.

Активные 8-входовые разветвители локальных сетей (хабы) предназначены для обеспечения связи элементов верхнего уровня системы между собой по основной сети ArcNet и резервной сети Ethernet, имеющим топологию «звезда».

Серверы (промышленные компьютеры на базе процессора Intel Pentium с тактовой частотой 433 МГц с ОЗУ 64 Мбайт и установленными дополнительно расширителями последовательных портов Intelcon Flex8 и сетевыми картами ArcNet), обозначенные как основная станция и резервная, совместно с хабами составляют ядро верхнего уровня ИИС РУ СМ-3. Они предназначены для ввода данных от подсистем нижнего уровня, их обработки в реальном времени, хранения предыстории, выполнения необходимых вычислений, отображения в текстовом и графическом виде, а также предоставления данных подключенным через

активные разветвители рабочим станциям. При штатной работе основной станции (первый сервер) данные от подсистем поступают к ней по последовательным каналам и передаются по сети в резервную станцию (второй сервер), которая постоянно отслеживает состояние первого сервера. В случае диагностирования отказа первого сервера второй перехватывает управление на себя и далее выполняет функции основной станции. После устранения отказа первый сервер при включении выполняет функции резервной станции.

Рабочие места начальника смены, старшего инженера управления реактором и оператора петель (бездисковые промышленные компьютеры на базе процессора Intel Pentium с тактовой частотой 433 МГц с ОЗУ 32 Мбайт и установленными дополнительно сетевыми картами ArcNet и 19-дюймовыми мониторами) предназначены для представления информации о ходе технологических процессов в РУ СМ-3 и его петлевых установках. Рабочее место технолога предназначено для организации доступа к технологической информации.

Рабочее место главного инженера предназначено для организации доступа ко всей технологической информации по реактору, включая данные об активной зоне, контурах, петлях и вспомогательных подсистемах, как в режиме реального времени, так и в режиме просмотра архивов.

Рабочее место поддержки архива (офисный компьютер на базе процессора Intel Pentium с тактовой частотой 350 МГц с ОЗУ 32 Мбайт и установленными CD-RW накопителем на компакт-диске и сетевой картой) предназначен для ведения архива о протекании технологического процесса на дисках большой емкости и длительного срока хранения, а также подготовки разнообразных отчетов.

Индикаторное табло, подключенное к компьютеру рабочего места старшего инженера управления реактором (СИУР), предназначено для вывода технологической информации на блочный щит управления (БЩУ).

### Подсистема ввода дискретных сигналов

Каждый из двух идентичных каналов подсистемы ввода дискретных сигналов содержит одноплатный микроконтроллер 6020 с подключенными к нему через плату согласования KAD матричной клавиатурой КР-3 и жидкокристаллическим индикатором LCD (все изделия фирмы Octagon Systems), 16 плат гальванической изоляции каналов дискретного ввода TBI-24/0 (Fastwel), пять коммутаторов дискретных сигналов MDS и две платы гальванического разделения дискретных сигналов IDS (изделия собственной разработки), три источника электропитания PM-345CE (Artesyn Technologies), SX150-24S, ESP18-05S (Traco).

Источник PM-345CE предназначен для запитки контроллера 6020 и средств отображения, SX150-24S — датчиков с выходом типа «сухой» контакт, ESP18-05S — плат TBI-24/0, MDS и IDS.

Сигналы от датчиков с выходом типа «сухой» контакт поступают на кроссовые панели и шлейфами разводятся на входы плат TBI-24/0. Поскольку реализация кроссовых панелей УВК ПС-1001 (по настоянию специалистов по обслуживанию был сохранён без переконфигурирования кросс прежней системы) позволяет подключать только 15 дискретных сигналов, то незадействованные входы плат TBI-24/0 используются как контрольные: с помощью перемычек на



Рабочее место оператора петель

них задается адрес платы, который считывается и анализируется микроконтроллером. Выходы четырех по порядку плат TBI-24/0 подключаются ко входам плат MDS, выходы которых, в свою очередь, подключаются ко входам «сборной» платы MDS, чей выход через плату IDS подключен к цифровому порту J2 платы 6020. Управление платами MDS производится от цифрового порта J1 микроконтроллера 6020 через плату IDS и с помощью двух монтажных колодок STB-26 разводится к платам MDS первой и второй ступеней коммутации. Теоретически, используя все возможности микроконтроллера 6020, на базе плат MDS можно реализовать шестиступенчатую коммутацию для ввода 98304 дискретных сигналов, однако на практике достижима только трехступенчатая коммутация с максимальным количеством опрашиваемых дискретных сигналов — 1536.

Микроконтроллер 6020 осуществляет функции определения состояний датчиков с выходом типа «сухой» контакт путем непрерывного последовательного опроса плат TBI-24/0, взаимодействия с оператором посредством матричной клавиатуры и жидкокристаллического индикатора и связи с верхним уровнем ИИС через последовательные порты по мере поступления запросов на передачу.

ПО ПВДС функционирует в ОС QNX 4.25 и содержит:

- задачу ввода дискретных сигналов;
- задачу обработки событий клавиатуры;
- задачу отображения информации на LCD;
- менеджер очереди;
- менеджер последовательного канала.

Задача ввода дискретных сигналов выполняет следующие функции:

- управление коммутаторами дискретных сигналов MDS первой и второй ступеней коммутации;
- ввод дискретных сигналов;
- устранение «дребезга» контактов;
- передачу по запросу подготовленных пакетов данных на верхний уровень;
- стробирование сторожевого таймера;

- передачу пакета данных в очередь для отображения на LCD.

Задача обработки событий клавиатуры осуществляет сканирование состояния клавиатуры с частотой 10 Гц. Код нажатой клавиши после обработки на антидребезговом фильтре передается задаче отображения на LCD для дальнейшей интерпретации.

Задача отображения информации на LCD выполняет следующие интерфейсные функции:

- отображение состояния входных сигналов для выбранной платы TBI-24/0;
- отображение контрольного символа (сравнение логического адреса платы TBI-24/0 с адресом, заданным переключателями непосредственно на плате);
- отображение состояния работоспособности канала ПВДС (мигающий символ в углу LCD);
- очистку LCD.

Все задачи организованы как единый имидж и помещены во флэш-память микроконтроллера 6020. Время загрузки ПО ПВДС составляет 15 секунд.

Каждый канал ПВДС со своим ИБП размещается в отдельном монтажном шкафу (рис. 3). К ПВДС подключено 200 дискретных сигналов, 40 входов составляет резерв.

### Подсистема ввода аналоговых сигналов

Каждый из каналов подсистемы ввода аналоговых сигналов СУ содержит одноплатный микроконтроллер 6040 (Octagon Systems) с подключенными к нему через плату согласования KAD матричной клавиатурой KP-3 и жидкокристаллическим индикатором LCD,

22 платы коммутаторов аналоговых сигналов AIMUX-32/AC-2 (Fastwel), 20 плат фильтров нижних частот (LPF) собственной разработки, плату гальванического разделения дискретных сигналов IDS, два модуля нормализации аналоговых сигналов с гальванической изоляцией ADAM-3014 (Advantech), плату эталонов, два источника питания PM-345CE и NFS42-7627 (Artesyn).

Источник питания PM-345CE предназначен для запитки микроконтроллера 6040 и средств отображения, NFS42-7627 — для запитки плат коммутаторов, модулей ADAM, платы эталонов и платы IDS. Сигналы поступают на кроссовые панели и шлейфами разводятся группами по 15 на входы плат LPF. Далее с выходов плат LPF они поступают на дифференциальные входы двадцати коммутаторов первой ступени коммутации. Выходы этих коммутаторов двумя группами по десять поступают на входы двух коммутаторов второй ступени коммутации, выходы которых через модули ADAM-3014 подключены к двум входам АЦП платы 6040 (порт J7). Опорные сигналы от платы эталонов (20 номиналов: 0,24; 0,48; 0,72...4,8 В) подключены к шестнадцати входным каналам коммутаторов первой ступени. Управление коммутаторами производится от цифрового порта J1 микроконтроллера 6040 через плату IDS и клеммную плату STB-26. Максимально достижимое количество входных сигналов при реализации двухступенчатой коммутации для платы 6040 составляет 2048 сигналов, при трехступенчатой — 32768.

Микроконтроллер 6040 осуществляет функции оценки величины аналоговых сигналов путем непрерывного последовательного опроса, взаимодействия с оператором посредством матричной клавиатуры и жидкокристаллического индикатора и связи с верхним уровнем ИИС через последовательные порты по мере поступления запросов на передачу.

ПО ПВССУ функционирует в ОС QNX 4.25 и по выполняемым функциям близко к ПО ПВДС.

Каждый канал ПВССУ со своим ИБП размещается в отдельном монтажном шкафу (рис. 4). К ПВССУ подключено 300 (из них 32 — резерв) сигналов диапазонов 0–10 В, 0–5 В и 0–5 мА.



Рис. 3. Шкафы подсистемы ввода дискретных сигналов (ПВДС)

### Подсистема ввода сигналов от датчиков температуры

Подсистема ввода сигналов от датчиков температуры (ПВСДТ) построена как распределенная система сбора данных на базе IBM PC совместимых программируемых микроконтроллеров ADAM-5510 (Advantech).

ПВСДТ содержит девять микроконтроллеров ADAM-5510 с установленными в них модулями ввода ADAM-5013 и ADAM-5017H, шестнадцать модулей нормализаторов сигналов термодатчиков ADAM-3011, девять модулей адресуемых преобразователей интерфейса ADAM-4521, восемь источников питания SX115-24S и один SX150-24S.

Сигналы от термопреобразователей сопротивления (ТС, соответственно TCM — ТС медный, ТСП — ТС платиновый) поступают на входы модулей ADAM-5013 через клеммные блоки Wago серии 742, в которых установлены добавочные резисторы типа C2-29 (54,2 Ом для TCM гр. 21 и 50 Ом — для ТСП 50П). Сигналы от термодатчиков (термоэлектрические преобразователи — ТЭП) поступают на входы модулей ADAM-3011, сконфигурированных для подключения четырех ТЭП типа ХК и 12 — типа ХА. Выходы модулей ADAM-3011 подключены ко входам двух модулей ADAM-5017H. Для связи микроконтроллеров с основной станцией верхнего уровня организована сеть, построенная с использованием изолированных портов COM2 устройств ADAM-5510 (интерфейс RS-485), для связи с резервной станцией — сеть, использующая неизолированные порты COM1 интерфейса RS-232, который преобразуется в RS-485 при помощи адресуемых модулей ADAM-4521. Каждый микроконтроллер под управлением ПО, функционирующего в DOS, осуществляет функции непрерывного последовательного опроса подключенных к его входам датчиков температуры и связи с верхним уровнем ИИС через последовательные порты по мере поступления запросов на передачу.

Оборудование ПВСДТ размещено в трех навесных шкафах CONCEPT-



Рис. 4. Шкафы подсистемы ввода сигналов системы управления (ПВССУ)

LINE фирмы Schroff (рис. 5). ИБП ПВСДТ размещен в сетевом шкафу СШ1. К ПВСДТ подключено 92 TCM гр. 21, 4 ТСП типа 50П, 4 ТЭП типа ХК и 12 ТЭП типа ХА.

### Индикаторное табло

Индикаторное табло, размещаемое на БЩУ, предназначено для отображения параметров РУ СМ-3, контроль за которыми необходим при проведении процедур управления основным оборудованием реактора. Ограниченное пространство, отводимое для установок средств отображения параметров, а также ряд других факторов, таких как пожарная безопасность и стоимость, определили выбор вакуумно-флуоресцентных дисплеев 03612-160-05440 (IEE), имеющих последовательный интерфейс RS-232. Программная поддержка индикаторного табло, состоящего из двух дисплеев с адресуемыми коммуникационными модулями ADAM-4521 (рис. 6), строилась на основе механизма передачи сообщений ОС QNX. Таким образом, связь между дисплеями и серверами ИИС (основной и резервной станциями) реализуется через межзадачное взаимодействие задачи-драйвера с базой данных реального времени пакета RealFlex, сетевое взаимодействие по Ethernet/ArcNet, последовательное адресуемое — по RS-485 от РМ СИУР (просто-венно наиболее близкого к БЩУ) к модулям ADAM-4521,

и, наконец, непосредственное — от модулей ADAM-4521 к дисплеям по RS-232. Питание дисплеев и коммуникационных модулей осуществляется от РМ СИУР. Количество выводимых на дисплей параметров — 12, период обновления данных — 0,5 секунды. Для удобства восприятия информации предусмотрены специальные символы, определяющие превышение уставок и др.

### Верхний уровень системы

Серверы — основная и резервная станции (рис. 7: шасси IPC-615, процессорная плата PCA-6168 фирмы Advantech), три компьютера рабочих мест начальника смены, старшего инженера управления реактором, оператора петель (все три выполнены на базе шасси IPC-6806 и процессорной платы PCA-6168 фирмы Advantech) и компьютер рабочего места технолога объединены в дублированную сеть Ethernet/ArcNet, а офисные компьютеры рабочих мест главного инженера и поддержки архива — только в сеть Ethernet.

Все компьютеры верхнего уровня, за исключением рабочего места поддержки архива, функционируют под управлением ОС QNX 4.25 (QSSL) и пакета



Рис. 5. Один из шкафов с оборудованием подсистемы ввода сигналов от датчиков температуры (ПВСДТ)



Рис. 6. Коммуникационный модуль ADAM-4521 для дисплея IEE

RealFlex4 (BJ Software). Основная станция работает в режиме RealFlex run-time, а резервная станция находится в режиме «горячего» резерва — RealFlex hot standby, что позволяет ей «на лету» брать на себя функции основного сервера в случае диагностирования его отказа.

Все РМ имеют конфигурацию LanFlex, их загрузка осуществляется по локальным сетям с того сервера, который в текущий момент является основным в ИИС РУ СМ-3, при этом на системную консоль выдается сообщение о номере узла РМ и о номере узла активного в настоящий момент времени сервера. РМ начальника смены, СИУР, оператора пелетель и технолога — бездисковые, однако первые три имеют в своем составе флэш-память DiskOnChip MD2200-D48 (M-Systems), что позволило разместить программное обеспечение начальной загрузки: менеджеры обеих локальных сетей, программу, определяющую номер активного сервера, задачу дальнейшей загрузки с активного сервера.

Модем, подключенный к одному из последовательных портов основной станции, позволяет организовать удаленное рабочее место, функционирующее в конфигурации RemFlex через коммутируемое соединение.

РМ поддержки архива соединено с серверами по локальной сети Ethernet. В ИИС РУ СМ-3 программно реализован односторонний доступ к диску РМ поддержки архива со стороны серверов с использованием службы SMBFsys OC QNX и протокола TCP/IP.

Данные от всех подсистем нижнего уровня поступают в базу данных реального времени (БД РВ) с помощью специализированных задач — сканеров

ввода-вывода, разработанных с помощью пакета Custom Development Kit для RealFlex4. В ИИС РУ СМ-3 функционируют три вида сканеров:

- сканеры ПВДС и ПВССУ;
- сканер ПВСДТ;
- сканеры основных каналов.

Сканеры ПВДС и ПВССУ идентичны и отличаются лишь настройкой на конкретную БД РВ, содержащую теги RealFlex. Данные сканеры опрашивают



Рис. 7. Серверы системы (основная и резервная станция)

вверенные им подсистемы нижнего уровня с периодом 0,5 секунды и осуществляют передачу данных сканерам основных каналов по их запросу.

Сканер ПВСДТ отличается от описанных сканеров тем, что он опрашивает и ведет статистику связи с каждым микроконтроллером ADAM-5510 ПВСДТ. В случае отсутствия ответа от микроконтроллера, входящего в состав ПВСДТ, или получения подряд нескольких некондиционных пакетов сканер, работающий на основной станции, посылает запрос данному микроконтроллеру по дополнительному каналу последовательной связи через мультипортовую карту резервной станции, если таковая присутствует в сети. Полученные данные от ПВСДТ обрабатываются программными модулями, реализующими следующие градуировки:

- ТСМ гр. 21;
- ТСП типа 50П;
- ТЭП типа ХК;
- ТЭП типа ХА.

Настройка тэга на вычисление температуры по необходимой для него градуировке осуществляется с помощью одного из свободных полей описания в БД РВ RealFlex.

Период опроса ПВСДТ составляет 2 секунды.

Для обеспечения возможности вывода мнемосхемы данных от находящихся в «горячем» резерве каналов подсистем нижнего уровня в систему были введены сканеры основного канала. Они получают данные от соответствующих сканеров ПВДС и ПВССУ посредством механизма синхронного обмена сообщениями ОС QNX (SRR) для

последующего отображения на мнемосхемах всех рабочих мест ИИС. Для ручного выбора основного канала в систему была включена отдельная экранная форма, а на мнемосхемах, отображающих технологические параметры РУ, введена индикация цветом с названием сканируемого в данный момент времени канала. В случае потери связи с выбранным каналом подсистемы нижнего уровня сканер основного канала автоматически переключает

вывод данных на мнемосхемы от сканера резервного канала подсистемы со сменой индикации на всех экранных формах.

Сканер основного канала, связанный со сканером каналов ПВССУ, передает 12 параметров задаче, выводящей их на индикаторное табло.

Для выполнения расчетов, например тепловой мощности реакторной установки, использовался командный язык процессора вычислений Qcalcdo RealFlex. А так как синтаксис процессора вычислений обладает весьма скромными возможностями, то для определения ряда расчетных параметров, таких как нахождение максимального параметра из ряда параметров, пользовались уже возможностями, предоставляемыми языком управляющих последовательностей CSL (BJ Software).

Для предотвращения возможного «зависания» компьютеров РМ верхнего уровня системы предусмотрена задача, запускаемая при загрузке на каждом РМ для стробирования сторожевых таймеров процессорных плат PCA-6168.

Экранные формы (рис. 8) подготавливались в графическом редакторе в среде Windows, портировались в QNX и

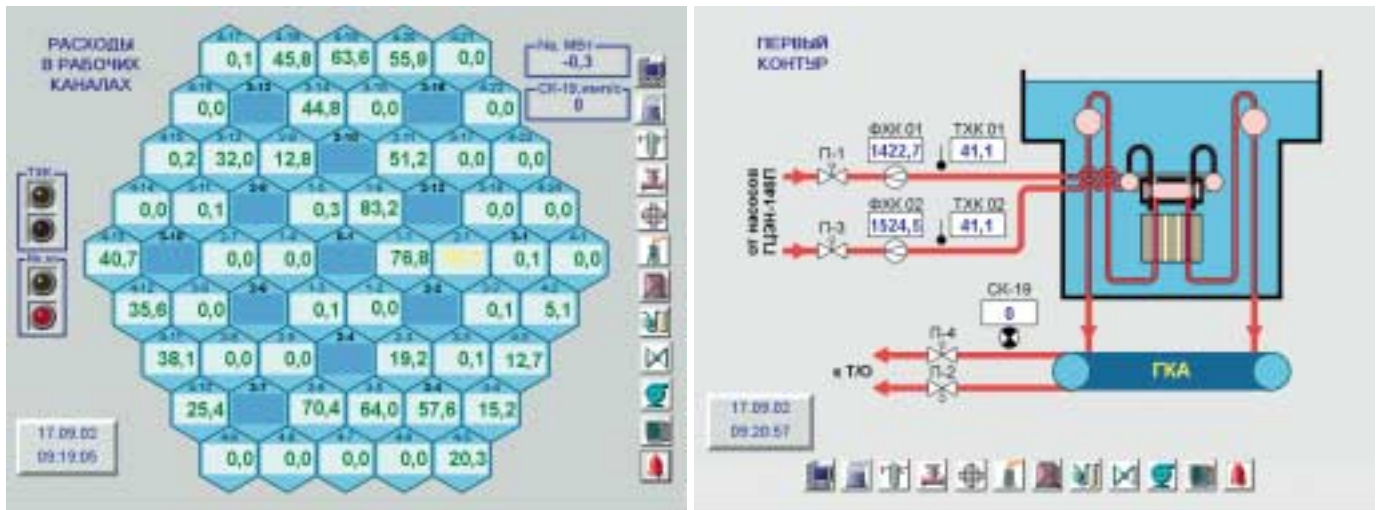


Рис. 8. Примеры экранных форм РМ верхнего уровня системы

конвертировались в формат пакета RealFlex для дальнейшего наложения «динамики». Для удобства работы с формами отображения информации наряду со встроенной в RealFlex возможностью перелистывания форм был организован вызов мнемосхем из базовой формы, представляющей собой таблицу с кратким описанием всех мнемосхем.

Все данные, поступающие от подсистем нижнего уровня, архивируются. Время хранения данных — один месяц, «мертвая» зона по аналоговым параметрам — 2% (значения сигналов с абсолютным отклонением от уставки менее 2% считаются типовыми и не фиксируются).

Для периодического вывода на печать оперативных отчетов о работе реакторной установки в ИИС предусмотрены два матричных принтера, подключенных к основной и резервной станциям.

### ПРОБЛЕМЫ, ВОЗНИКШИЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ИИС РУ СМ-3

Во время отладки связи подсистем нижнего уровня с основной станцией столкнулись с ситуацией, когда происходила потеря части данных, передаваемых от подсистем. Применяв в полной мере метод проб и ошибок, пришли к выводу о том, что проблема кроется в драйвере Dev.cti для ОС QNX 4.25, обслуживающем последовательные порты мультипортовой карты Intellicon-Flex8 (Connect Tech Inc.). Поскольку сбои начинали проявляться при асинхронных загрузках пяти последовательных портов (настройка каждого из портов 38400 бод) с темпом поступления данных от подсистем нижнего уровня порядка 3 кбайт/с, бы-

ло решено обмен с ПВССУ перевести на последовательные порты платы PCA-6168, и данная проблема была закрыта.

Отмечая то обстоятельство, что за все время разработки ИИС РУ СМ-3 проблем с ОС QNX 4.25 у нас не возникало, кратко остановимся на ошибках, кратко остановимся на ошибках, обнаруженных в пакете RealFlex 4.20d. Так, в частности, при наложении на статическую картину символов динамики, созданных редактором-построителем символов, происходил сбой с выводом на консоль сообщения SIGSEGV. Понятно, что это существенно ограничивает возможности редактирования мнемосхем в режиме on-line. Далее, после вызова на экран системной сводки при попытке свернуть её в пиктограмму рабочего стола сводка с экрана бесследно исчезает, однако сама задача при этом продолжает находиться в памяти компьютера, занимая ресурсы процессора. Для предотвращения накопления такого рода задач было решено исключить возможность сворачивания в пиктограмму системной сводки. Наконец, задача Qdisp, отвечающая за отображение динамических данных на мнемосхемах, для некоторых видеорежимов приводила к неприятному мерцанию экрана, а при определенных обстоятельствах вдобавок конфликтовала с задачей, выводившей данные предыстории из архива.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Во время летних планово-предупредительных работ 2001 года на РУ СМ-3 разработанная система была смонтирована, опробована её работоспособность, она прошла процедуру

метрологической калибровки измерительных каналов и была сдана в эксплуатацию под контролем органов ГосАтомНадзора в установленный срок. К моменту публикации статьи система находится в эксплуатации в течение года.

Вновь разработанная ИИС РУ СМ-3 выполняет сбор, обработку, архивирование и предоставление информации о ходе протекания технологического процесса и позволяет обеспечивать оптимальные технико-экономические показатели эксплуатации реактора СМ-3, а также повышает степень безопасности и надежности эксплуатации реакторной установки.

Использование для построения новой системы оборудования нижнего уровня, предшествовавшего УВК ПС-1001 (датчики, нормирующие преобразователи, линии связи, кросс), позволило значительно уменьшить общие затраты на создание ИИС РУ СМ-3.

Считаем также необходимым отметить высокие экономические показатели, достигнутые в результате разработки. Так, например, оригинальная структура нижнего уровня системы позволила достичь следующих стоимостных показателей каналов:

- для дискретного сигнала — 11\$;
- для аналогового сигнала СУ — 20\$;
- для аналогового сигнала низкого уровня (ТЭП, ТС) — 145\$.

Стоимость рабочего места верхнего уровня системы (промышленный компьютер, ПО и коммуникационное оборудование) не превышает 6000\$. ●

**Авторы — сотрудники  
ГНЦ РФ НИИАР  
Телефон: (84235) 32-324  
Факс: (84235) 64-183**