

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 621.311:621.039

ВСТРОЕННАЯ ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА МОЩНОСТИ РЕАКТОРА

М.А. Любин, С.В. Сазонов, П.Г. Федоров
(ФГУП «НПП ВНИИЭМ»)

Описана встроенная диагностическая система автоматического регулятора мощности реактора, её структура, характеристики и особенности реализации. Показаны причины и обоснованность её применения при эксплуатации и выполнении пусконаладочных работ на площадке АЭС.

Ключевые слова: автоматический регулятор мощности реактора (АРМ), встроенная диагностическая система, операционная система, программное обеспечение.

Введение

Комплекс электрооборудования систем управления и защиты энергетических реакторов (КЭ СУЗ) типа ВВЭР представляет собой многофункциональную систему, выполняющую набор защитных, управляющих и информационно-диагностических функций. Важной составной частью КЭ СУЗ является автоматический регулятор мощности реактора (АРМ). Регулятор АРМ является многоканальным аппаратно-программным комплексом, который на основании входных аналоговых и дискретных сигналов от различных систем и шкафов КЭ СУЗ формирует выходные дискретные сигналы «Больше» и «Меньше» для перемещения, соответственно, вверх или вниз рабочей группы органов регулирования (ОР).

В последнее время ФГУП «НПП ВНИИЭМ» составляет для вновь строящихся блоков или для модернизации ранее построенных блоков АЭС цифровой автоматический регулятор мощности реактора на базе средств вычислительной техники (ВТ). Применение средств ВТ было обусловлено требованиями заказчика по повышению качества регулирования технологического процесса, объединению различных узлов КЭ СУЗ в единую информационно-управляющую систему с обязательным протоколированием, архивированием параметров и характеристик производственного процесса и функционирования АРМ, а также требованием значительного сокращения сроков проектирования и выполнения пусконаладочных работ. Необходимо отметить, что все поставленные требования были успешно выполнены. В настоящее время на блоках № 3, 4 Нововоронежской АЭС успешно эксплуатируется цифровой регулятор АРМ в течение семи и шести лет соответственно. На блоке № 3 Калининской АЭС три года успешно

эксплуатируется цифровой регулятор АРМ. Кроме того, на площадки строящихся блоков Ростовской АЭС, АЭС «Бушер» и АЭС «Куданкулам» также поставлены цифровые регуляторы АРМ, которые будут задействованы по мере ввода в строй данных АЭС.

Повышение качества регулирования мощности реактора потребовало значительного усложнения рабочего алгоритма АРМ, увеличения количества параметров технологического процесса и оборудования, учитываемых в процессе функционирования АРМ. Применение же средств ВТ для решения данной задачи увеличило функциональную насыщенность АРМ и неизбежно поставило перед разработчиками вопрос о внедрении средств диагностики. В результате проведённых инженерно-конструкторских работ была разработана встроенная диагностическая система (ВДС) регулятора АРМ.

При нормальной эксплуатации и на этапах пуско-наладочных работ, комплексных испытаний и динамических испытаний ВДС позволяет оперативно отображать на экране выдвигного монитора процесс регулирования мощности реактора при работе энергоблока. Диагностическая система позволяет получать детальную информацию о работе каналов шкафа с целью анализа работы, оперативно выполнять диагностику неисправностей и исключить необоснованные претензии к функционированию шкафов АРМ со стороны обслуживающего персонала, которые обусловлены отсутствием детальной архивации параметров функционирования шкафов АРМ в системе группового и индивидуального управления (СГИУ).

Необходимо отметить, что интеграция регулятора АРМ в общую сеть программно-технического комплекса «Информационно-диагностическая система» (ПТК-ИДС) не позволяет полностью за-

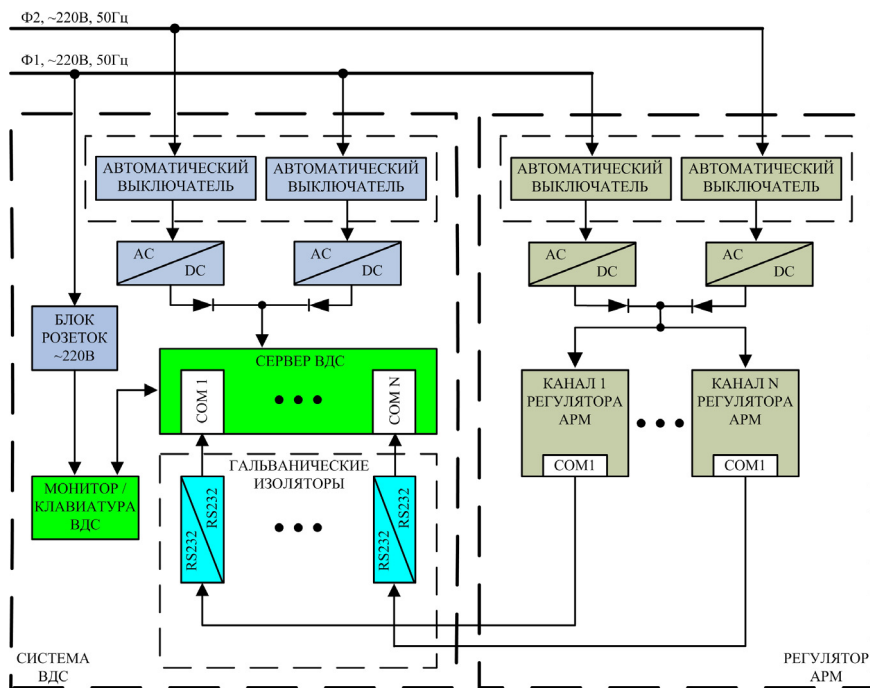


Рис. 1. Архитектура встроенной диагностической системы

менить ВДС, по следующим причинам. Количество передаваемой информации от регулятора АРМ значительно загрузит каналы связи ПТК-ИДС. Время хранения архива на сервере ПТК-ИДС – всего одна неделя, а на сервере ВДС – более одного года. Кроме этого, отображение параметров функционирования регулятора АРМ и процесса регулирования мощности реактора необходимо наблюдать на месте установки самого регулятора АРМ (особенно на этапе пусконаладочных работ), а не там, где установлен сервер ПТК-ИДС. И наконец, формат отображения информации на мониторе ПТК-ИДС имеет минимальную достаточную информативность для оценки функционирования КЭ СУЗ в целом, что не соответствует потребностям персонала АЭС и разработчиков регулятора АРМ.

Встроенная диагностическая система. Принципы и реализация

При разработке аппаратно-программного комплекса ВДС в её основу было положено несколько принципов:

- простота интеграции в существующую архитектуру цифрового АРМ;
- простота монтажа в шкафу АРМ;
- минимизация занимаемого пространства внутри шкафа АРМ;
- гальваническая изоляция от основного оборудования шкафа АРМ;

- удовлетворение требований по вибростойкости и ударопрочности;
- минимизация затрат на разработку прикладного ПО.

В результате была разработана архитектура ВДС (рис. 1). Каждый канал шкафа АРМ через ранее свободный последовательный СОМ-порт передаёт посредством гальванически изолированного интерфейса RS-232 пакет данных о текущем состоянии канала. Сервер ВДС принимает эту информацию, обрабатывает ее, выполняет ее протоколирование и архивирование, а также выполняет графическое отображение процесса регулирования мощности реактора. Таким образом, при внедрении ВДС в регулятор АРМ используется минимальное количество связей, чем обеспечивается простота интегрирования

ВДС не только в разрабатываемые шкафы АРМ, но и в уже поставленные заказчику. Более того, используемые технические средства ВДС позволяют произвести ее быстрый (в течение 1 часа) монтаж не только на производственных мощностях ФГУП «НПП ВНИИЭМ», но и непосредственно на площадке АЭС.

В качестве сервера ВДС используется мало мощный и, следовательно, малопотребляющий промышленный PC-совместимый компьютер. В настоящее время сервер ВДС реализован в двух вариантах.

Первый вариант основан на сервере MBX1723 фирмы Arbor [1], который был доработан в соответствии с требованиями по термо- и вибростойкости. В частности, был заменён штатный блок питания AC/DC (~220 В) преобразователем DC/DC (+24 В), и попутно был убран один из вибронеустойчивых элементов – вентилятор охлаждения в блоке питания.

Наибольшей проблемой было исключение вибронеустойчивых элементов, особенно вентиляторов охлаждения, при выполнении требований по термостойкости. Это обусловило применение малопотребляющего и, соответственно, маломощного процессора. В свою очередь, это позволило исключить также корпусной вентилятор охлаждения и вентилятор охлаждения процессора. Однако небольшого штатного радиатора недостаточно для устойчивого охлаждения процессора при комнатной температуре, тем более при температуре 40° С,

в соответствии с требованиями заказчика. Поэтому для решения данной проблемы была применена плата-носитель с основными интерфейсными соединителями, с установленной на неё мезонинной процессорной платой ETX (размер 111,6 × 95 мм). Особенностью формата ETX является то, что радиатор является обязательной составной частью конструкции. Он жёстко крепится с помощью четырех 120-контактных разъёмов и четырех винтов по углам. Площадь радиатора равна площади самого модуля ETX. Попутно была решена проблема ненадёжного крепления штатного процессорного радиатора на подпружиненных пластмассовых штифтах.

В качестве процессора используется низковольтная версия (ULV) мобильного процессора Celeron M частотой 600 МГц. Процессорный модуль потребляет максимум 12,5 Вт.

В сервере ВДС используется 2,5" жёсткий диск, который имеет значительно большую вибростойкость (1 g; 5 – 500 Гц), ударопрочность (300 g) в рабочем состоянии, чем стандартный 3,5" диск. Потребление жёсткого диска составляет всего 2 Вт. Кроме того, жёсткий диск помещён в специальный антивиброконтейнер для повышения его эксплуатационных характеристик.

В качестве второго варианта сервера ВДС для последних регуляторов АРМ используется промышленный компьютер eBox-630-830 фирмы Axiomtek [2]. Его меньшие размеры по ширине потребовали применения металлического поддона для крепления в 19" стойке шкафа. Его отличительной особенностью является применение низковольтного мобильного процессора Celeron M с тактовой частотой 1,07 ГГц. Максимальное потребление процессорного модуля составляет 8,5 Вт. Другой важной особенностью сервера ВДС является соединение «в упор» радиатора процессора с верхней массивной ребристой крышкой сервера, играющей роль охлаждающего элемента, что полностью решает проблему охлаждения сервера.

Аналогично первому варианту 2,5" жёсткий диск для протоколирования и архивирования установлен в антивиброконтейнер.

Для обеспечения бесперебойной работы ВДС используется питание от двух фидеров переменного напряжения 220 В, двух преобразователей AC/DC, формирующих на своих выходах постоянное напряжение +24 В. Выходы этих преобразователей через диоды объединены по схеме «ИЛИ». Получаемое напряжение +24 В питает сервер ВДС. Максимальная потребляемая мощность сервера ВДС составляет не более 35 Вт, а консоли монито-

ра не более 40 Вт, что практически не ухудшает тепловой баланс внутри шкафа АРМ (габаритные размеры 800 × 600 × 2000 мм).

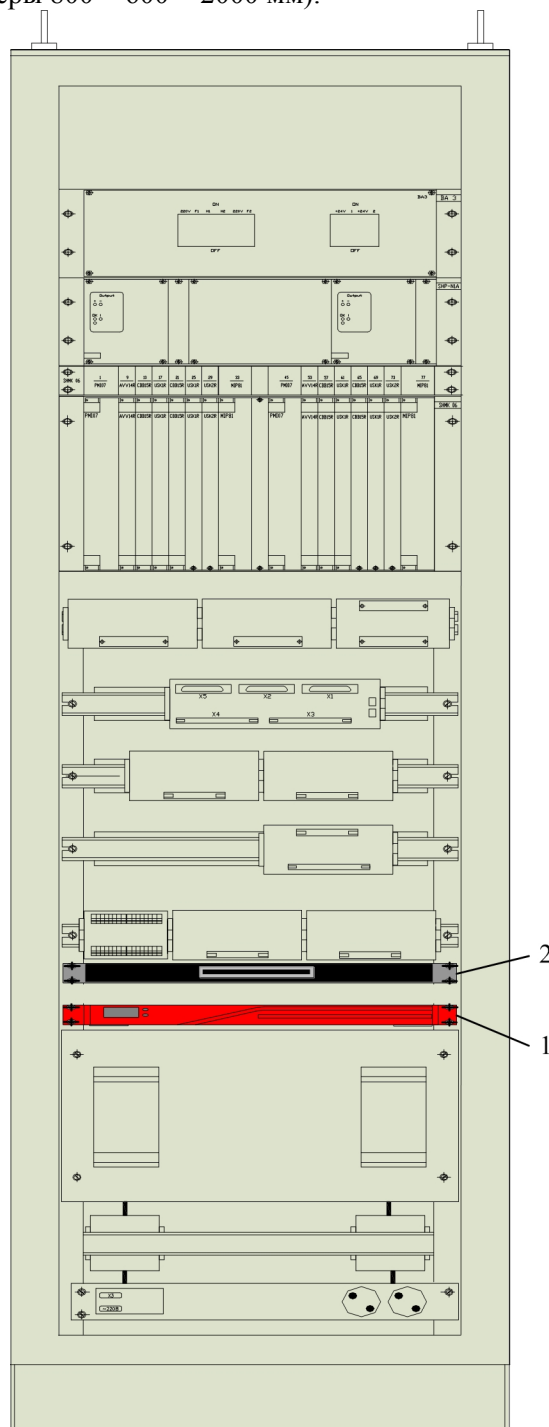


Рис. 2. Размещение ВДС в шкафу АРМ:
1 – сервер; 2 – монитор/клавиатура

Существенная особенность используемых серверов ВДС в том, что они пригодны для установки в 19" стойки и высота их корпуса составляет всего 1 – 1,5 U, т. е. 44 – 70 мм.

Для минимизации занимаемого пространства в качестве блока монитора/клавиатуры была выбрана раскладная консоль фирмы Aicsys [3] с жидкокристаллическим экраном 15''(17''). Консоль предназначена для встраивания в шкафы шириной 19'', а её высота в сложенном состоянии составляет только 1U (44 мм). Промышленное исполнение консоли монитора обеспечивает ее достаточную устойчивость к механическим воздействиям (вибрация 1g в диапазоне 50 – 500 Гц, удар10g) и климатическим воздействиям (рабочая температура 0 – 50°C). Для питания модуля монитора/клавиатуры ВДС используется один из фидеров переменного напряжения. Пропадание питания на мониторе ВДС не нарушает приём, протоколирование и архивирование данных от каналов АРМ.

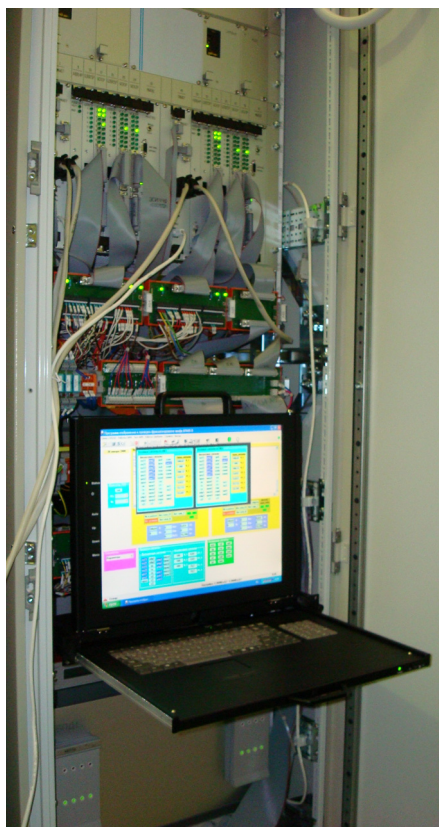


Рис. 3. Сервер ВДС и выдвинутый монитор ВДС в шкафу АРМ

В целом, ВДС является очень компактной системой (рис. 2) и занимает в шкафу АРМ пространство по высоте не более 3U, т. е. 132 мм (промежуток между сервером ВДС и монитором ВДС предназначен для их охлаждения). В результате появилась возможность встраивания ВДС даже в ранее отгруженные заказчикам шкафы АРМ без переконфигурации составных элементов внутри шкафа.

На рис. 3 изображен шкаф АРМ с установленной ВДС.

В качестве гальванического изолятора последовательного канала используются модули ME-RS232/RS232-P/SB фирмы Phoenix Contact, устанавливаемые на отдельный Din-рельс.

Таким образом, использование отдельных автоматических выключателей, отдельных преобразователей AC/DC, гальванически изолированных каналов связи RS-232 обеспечивает полную изоляцию оборудования ВДС от основного оборудования шкафа АРМ, выполняющего функции регулирования мощности реактора. Это позволяет в любой момент включать, выключать и перезагружать сервер ВДС. «Зависание» или даже выход из строя сервера ВДС не влияет на функционирование регулятора АРМ.

Системное программное обеспечение

Использование РС-совместимого промышленного компьютера обеспечило преимущество прикладного программного обеспечения (ППО). ППО функционирует под управлением операционной системы (ОС) Windows XP, которая была выбрана из соображений минимизации затрат на разработку ППО. Под данную ОС ранее уже было разработано ППО комплекта проверки АРМ. К тому же, на сегодняшний день Windows XP является самой стабильной ОС, функционирующей на РС-совместимых компьютерах.

Однако Windows XP – достаточно «тяжелая» ОС. Поэтому применение Windows XP на сервере ВДС с маломощным процессором потребовало специальных мер по уменьшению её ресурсоёмкости. Эти меры обеспечили быстрый временной отклик сервера ВДС, достаточный для приёма, отображения и протоколирования данных, поступающих от каналов регулирования шкафа АРМ в режиме реального времени.

Жёсткий диск был разбит на 2 раздела: системный и пользовательский. Был задан постоянный файл подкачки величиной 128 Мбайт. При величине оперативной памяти 512 Мбайт это заставляет ОС максимально использовать ОЗУ.

В настройках рабочего стола были отключены все картинки и мультимедийные эффекты рабочего стола, не требующиеся для функционирования сервера ВДС, но съедающие ресурсы процессора. Дополнительно были отключены следующие элементы ОС [4]: функция обновления ОС, служба Windows Messenger, функция удалённой помощи, встроенный отладчик ОС (Dr. Watson), функция предварительного просмотра содержимого файла (Property Nan-

der), индексация содержимого жёсткого диска, все режимы энергосбережения и т. д.

Кроме того, были изменены некоторые временные параметры ОС, для чего использовалась коррекция параметров в реестре Windows: веб-публикации, диспетчер отгрузки, диспетчер сетевого DDE, журналы оповещения производительности, координатор распределённых транзакций, планировщик заданий, диспетчер очереди печати, служба telnet, удалённый реестр, служба сообщений, служба факсов и многие другие службы. Как показала практика, в зависимости от требований конкретного ППО можно «безболезненно» отключить до 80% всех служб Windows. В результате выполненной тонкой настройки, ОС потребовала для своей загрузки только 110 Мбайт оперативной памяти без использования файла подкачки (против стандартных 250 Мбайт – ОЗУ и 128 Мбайт в файле подкачки). Значительное уменьшение загруженных в ОЗУ (активных) служб Windows уменьшило время отклика ОС, значительно снизило нагрузку на процессор и, соответственно, его тепловыделение и повысило устойчивость ОС.

Во вновь разрабатываемых шкафах АРМ планируется использовать в качестве операционной системы Windows XP Embedded [5]. Для неё предназначен отдельный загрузочный диск Compact Flash (скорость чтения 33 Мбайт/с). Применение Windows XP Embedded позволит полностью отказаться от файла подкачки как одного из наиболее серьёзных механизмов «торможения» ОС, и создать так называемую сборку операционной системы с минимальным количеством модулей, оптимизированную для

функционирования конкретного ППО – программы ВДС. Это дополнительно уменьшит отклик ОС на входящие события и увеличит её отказоустойчивость. С другой стороны, Windows XP Embedded обеспечивает 100% совместимость для всех приложений, разработанных для Windows XP, т. е. позволит использовать уже созданное ППО.

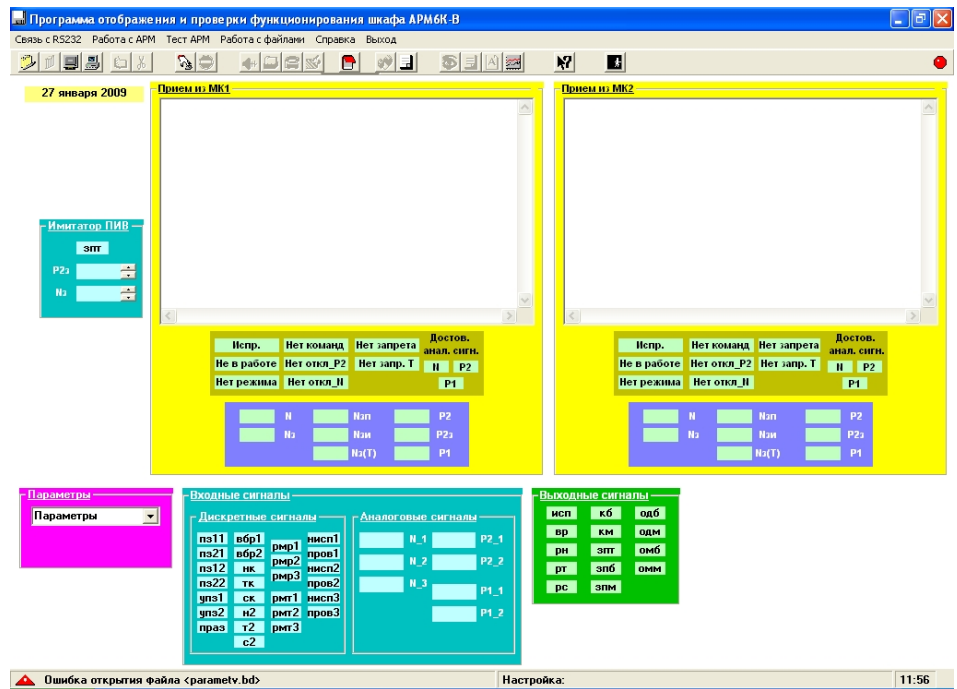


Рис. 4. Главное окно программы сервера ВДС

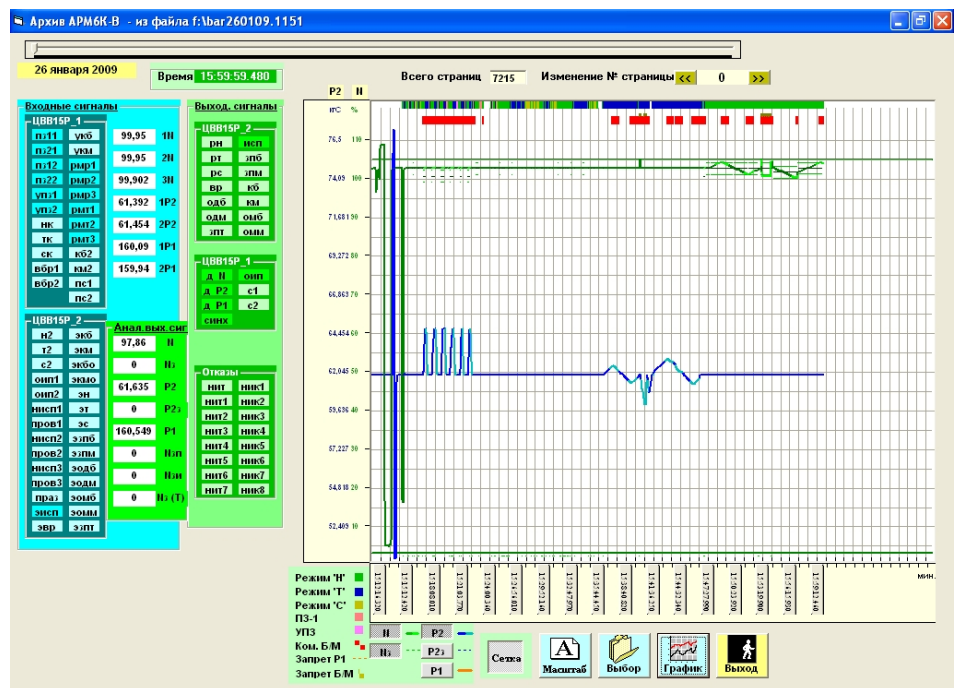


Рис. 5. Окно отображения архива функционирования регулятора АРМ

Прикладное программное обеспечение

При разработке ВДС были использованы значительные наработки программного обеспечения, полученные при разработке и эксплуатации комплекта проверки функционирования АРМ [6]. В качестве ППО сервера ВДС используется последняя версия программы для работы с комплектом проверки АРМ, которая функционирует под управлением ОС Windows 98/2K/XP.

Прикладное ПО, используемое в сервере ВДС, выполняет следующие функции (рис. 4 и 5):

- установка связи с каналами регулятора АРМ;
- дистанционное задание и выполнение команд в любом канале регулятора АРМ;
- настройка параметров алгоритмов регулирования мощности реактора;
- модификация встроенного ПО канала регулятора АРМ;
- текстовое отображение на экране в реальном времени параметров функционирования регулятора АРМ;
- графическое отображение на экране в реальном времени процесса регулирования мощности реактора;
- протоколирование и архивирование параметров функционирования регулятора АРМ и процесса регулирования мощности реактора.

Особое внимание при разработке прикладного ПО уделено решению вопроса быстрой и удобной коррекции параметров алгоритмов регулирования мощности реактора, что позволяет существенно сократить время пуско-наладочных работ и упростить эксплуатацию шкафа.

Прикладное ПО позволяет выполнять коррекцию многих параметров алгоритма функционирования АРМ.

Например, таких как длительность рабочего цикла, длительность шага и паузы регулирования при движении ОР, время обратного движения ОР, номиналы и границы допустимого значения давления в первом контуре и в ГПК, допустимые величины различия показаний датчиков нейтронной мощности и датчиков давления в первом контуре и в ГПК, и т. д. Причем настройка и коррекция параметров регулирования не требует какой-либо коммутации электронных компонентов шкафа АРМ или отключения объектовых кабелей.

Это упрощает настройку регулятора АРМ для конкретного блока АЭС, чье электромеханическое оборудование имеет, как правило, уникальные характеристики и параметры.

Поступила в редакцию 18.02.2009

Заключение

Таким образом, ВДС предоставляет широкие возможности по визуализации функционирования регулятора АРМ, процесса управления мощностью реактора. Визуализации и детализация информации о работе каналов регулятора значительно упрощают диагностику ошибок реализации алгоритмов регулирования АРМ и поиск неисправности его аппаратуры. Это позволяет говорить об актуальности и своевременности задачи интеграции ВДС в регулятор АРМ.

Разработанная архитектура ВДС является универсальной и удобной для интеграции, что позволяет встроить ВДС в любой цифровой регулятор АРМ, как вновь разрабатываемый, так и ранее поставленный заказчику, независимо от количества каналов регулирования (2, 3 или 4 канала). Упомянутые выше АРМ для Ростовской АЭС уже имеют интегрированную в шкаф ВДС. Разрабатываемые в настоящее время трёхканальные АРМ для 5-го блока Нововоронежской АЭС и 2-го блока Кольской АЭС также предусматривают установку данной системы ВДС.

Разработка ВДС была выполнена при непосредственном участии сотрудников ФГУП «НПП ВНИИЭМ» Шаповалова Е.И., Ойстачер Т.Н., Мирошник И.В., Ваганова К.А., а также при участии фирмы FarPoint (бывший FlexEngineering), г. Москва.

Литература

1. Arbor Technology Corp. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.arbor.com.tw>. – Дата обращения: 20.01.2009.
2. Axiomtek Co. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.axiomtek.com.tw>. – Дата обращения: 20.01.2009.
3. Aicsys Inc. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.aicsys.com>. – Дата обращения: 20.01.2009.
4. Кокорева О.И. Реестр Windows XP / О.И. Кокорева. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 560 с.
5. Павлов С. Введение в Window XP Embedded / С. Павлов. – М.: Кварта-Технологии, 2006. – 304 с.
6. Ольшевский Ю.Н. Модернизация автоматического регулятора мощности реактора Нововоронежской АЭС / Ю.Н. Ольшевский, С.В. Сазонов, Е.И. Шаповалов. – М.: Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика, 2003. – № 3. – С. 27 – 31.

*Михаил Александрович Любин, инженер, т. 623-35-95, e-mail: kotovis@npp.vniiem.ru.
Сергей Валерьевич Сазонов, ведущий инженер, т. 623-35-95, e-mail: kotovis@npp.vniiem.ru.
Петр Геннадьевич Федоров, инженер-программист, т. 624-84-96.*