

## **ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ВЕРХНЕГО УРОВНЯ АЭС С РЕАКТОРАМИ РБМК**

НПП ВНИИЭМ обладает многолетним опытом разработки, изготовления и внедрения оборудования для автоматизации АЭС с реакторами РБМК-1000.

На всех энергоблоках АЭС с реакторами РБМК-1000 успешно эксплуатируется информационно-вычислительная система «СКАЛА» на базе УВК В-3М разработки ВНИИЭМ, головной образец которой был внедрен в 1973 г. на первом энергоблоке Ленинградской АЭС. Несмотря на ограниченные ресурсы УВК В-3М, система «СКАЛА» обеспечивает контроль технологических параметров, проведение оперативных расчетов энергораспределения по реактору, представление информации оперативному персоналу и регистрацию особо важной информации, необходимой для диагностики оборудования и управления технологическим процессом.

Современный подход к обеспечению безопасности АЭС существенно повышает требования к системам автоматизации АЭС:

- оперативность основных информационных и расчетных функций должна быть повышена до уровня, обеспечивающего операторам возможность получения информации в темпе управления;
- необходимо обеспечить информационную поддержку оперативного персонала как в режиме нормальной эксплуатации, так и в переходных и аварийных режимах;
- необходимо обеспечить регистрацию особо важной информации с высокой разрешающей способностью для анализа аварийных ситуаций;
- ресурсы информационно-вычислительных систем должны позволить оперативно реализовывать сложные алгоритмы контроля и диагностики технологического процесса с использованием архивируемой информации;
- базовые программные средства должны включать средства автоматизации технологического проектирования, обеспечивающие возможность минимизации временных затрат на отработку и внедрение новых прикладных задач, и соответствовать современным требованиям к информационным системам (поддержку сетевых

структур, защиту информации и управление безопасностью сетевой структуры, живучесть сетевой архитектуры, многопользовательский режим работы, режим реального времени);

- архитектура информационно-вычислительных систем должна обеспечить функционирование при «единичном» отказе и исключить возможность нарушения функционирования при отказах по общей причине;

- технические средства должны соответствовать мировому уровню, международным и российским стандартам и требованиям, обеспечивать гибкость конфигурирования системы, а также (при одинаковом функциональном назначении) иметь нескольких производителей как отечественных, так и зарубежных.

Руководствуясь современной концепцией реализации систем автоматизации АЭС с реакторами РБМК, НПП ВНИИЭМ разработал программу поэтапной модернизации действующих систем «Скала».

В настоящее время на первом и втором энергоблоке Ленинградской АЭС внедрена в полном объеме система «Скала-М» (рис.1) с локальной вычислительной сетью верхнего уровня, которая обеспечивает повышение безопасности АЭС с реакторами РБМК-1000 путем:

- повышения эксплуатационной надежности информационно-вычислительной системы с заменой физически и морально устаревших технических средств современной аппаратурой;

- повышения оперативности основных информационных и расчетных функций, в том числе снижение периода контроля непосредственно измеряемых параметров до 5 с (ранее 60 с), двумерных нейтронно-физических расчетов до 20 с (ранее 10 мин), трехмерных расчетов до 2 мин (ранее не проводился);

- реализации развитой информационной поддержки операторов на дисплейных средствах во всех режимах, включая аварийный;

- обеспечение стыковки с модернизированными системами безопасности (СУЗ, АЗРТ и т.д.);

- реализации автономной подсистемы диагностической регистрации («черный ящик») основных аналоговых (до 480 точек с периодами 0,5 с) дискретных параметров (до 2000 точек с периодами 0,2 с) на время  $\pm 15$  мин от момента срабатывания аварийной защиты;

- обеспечения непрерывной бесперебойной работы системы в течение 8000 ч за счет дублирования функциональных узлов и магистралей и развитого диагностического программного обеспечения.

В состав вычислительного комплекса системы «Скала-М» входят:

- локальная сеть верхнего уровня (на базе IBM PC – совместимых компьютеров в промышленном исполнении);

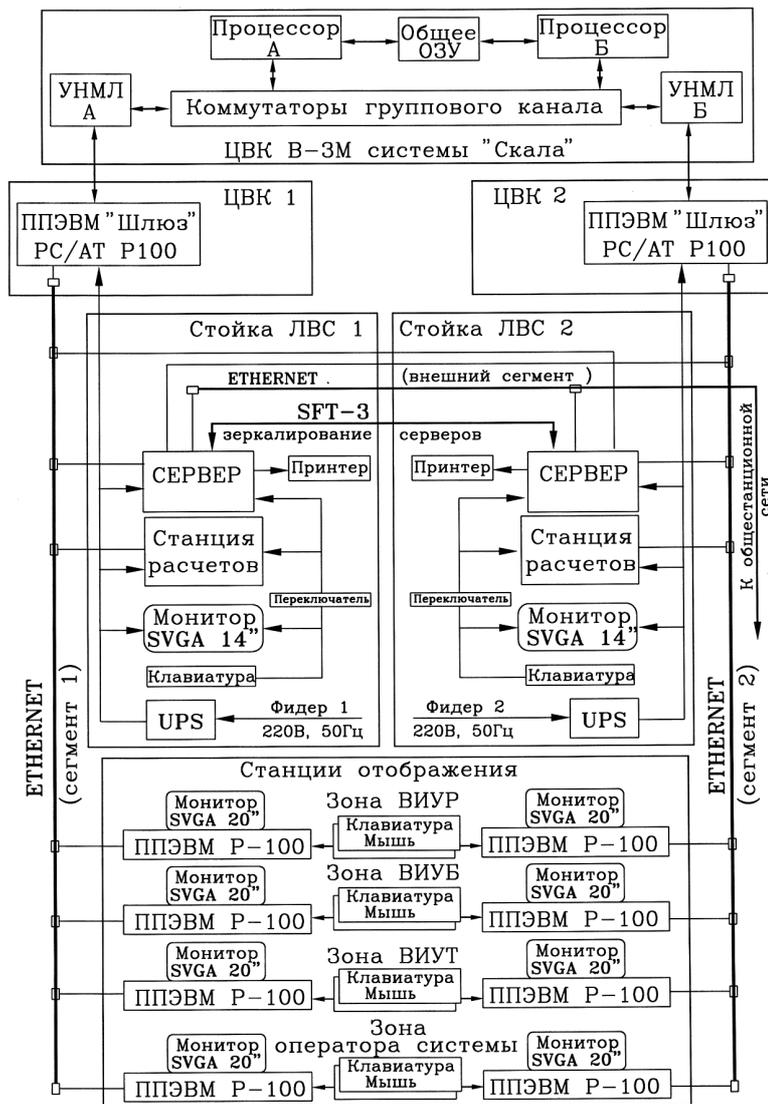


Рис. 1. Система «Скала-М» с ЛСВУ и демонтажем УВК В-ЗМ

- комплекс микросредств управляющей вычислительной техники (дублированные устройства ЦВК с подключенными к ним через дистанционно-контроллерную магистраль (ДКМ) дублированными микросистемами МСК, МСИ, МСФ-О, МСФ-С и ДРЕГ-А);

- комплекс ввода-вывода параметров (УК1...16, УК18, УК19, САС, ВДС, ВБС);

- комплекс индивидуальной сигнализации (ТО1...5, МСХ, ССЗ);

- комплекс мнемотабло каналов (КМТК).

Центральным звеном системы «Скала-М» является дублированный центральный вычислительный комплекс (ЦВК), реализованный на базе МСУВТ В9 со встроенной ПЭВМ в промышленном исполнении, который обеспечивает сбор информации по магистрали ДКМ от микросистем нижнего уровня, обмен информацией с локальной сетью верхнего уровня (ЛСВУ) по сети ETHERNET и управление сборными табло сигнализации.

Все микросистемы нижнего уровня дублированы. Предусмотрен режим автоматического ввода резерва. По функциональному назначению различаются следующие виды дублированных микросистем нижнего уровня:

- микросистемы МСК-1(2) приема информации от устройств коммутации УК;

- микросистемы МСК-3(4) для связи с устройствами САС, ВДС, ВБС и МТК;

- микросистемы МСИ-1(2) для приема индивидуальных аналоговых сигналов и управления самописцами;

- микросистемы МСФ-О1(2) и МСФ-С1(2) для связи с оборудованием модернизированной системы управления и защиты (СУЗ).

**Локальная сеть верхнего уровня системы «Скала-М»** (ЛСВУ системы «Скала») предназначена для выполнения расчетных функций, требующих больших объемов вычислений и обрабатываемой информации, а также для представления информации о параметрах работы энергоблока (рис.2).

ЛСВУ организована на базе компьютеров с архитектурой IBM PC AT, которые объединены в локальную сеть стандарта Ethernet. Основой каждого компьютера является комплекс компьютерный специального назначения ЭКСПРО (далее - ККСН), представляющий собой системный блок компьютера промышленного исполнения, а также монитор, клавиатура, интерфейсные кабели, кабели электропитания.

Каждый компьютер ЛСВУ, в зависимости от конфигурации, может выполнять одну или несколько функций. Одна из функций является основной, остальные - вспомогательными. В некоторых

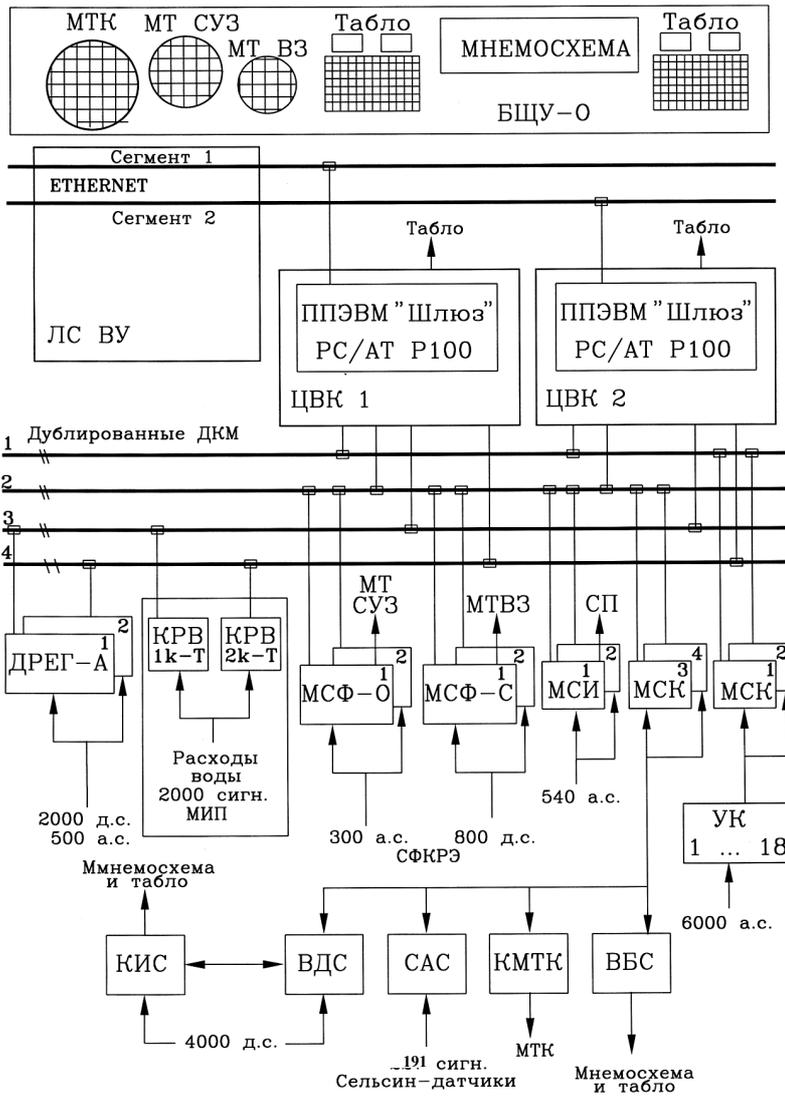


Рис. 2. Локальная сеть верхнего уровня ЛСВУ системы «Скала»

случаях для выполнения вспомогательных функций могут потребоваться дополнительные действия дежурного персонала участка «Скала» по изменению конфигурации ПО компьютеров. Названия компьютеров ЛСВУ соответствуют их основным функциям.

Компьютеры, предоставляющие свои ресурсы и услуги (дисковое пространство, очередь сетевой печати, межсетевую маршрутизацию и т.д.) другим компьютерам в ЛСВУ, выполняют функцию СЕРВЕРА.

Ресурсы серверов используются для выполнения следующих задач:

- хранение текущего состояния базы данных (БД);
- обеспечение загрузки сетевого ПО бездисковых компьютеров;
- хранение и обеспечение возможности запуска технологического ПО с сетевых дисков сервера;
- маршрутизация (т.е. передача информации между сегментами ЛСВУ) и сегментация (т.е. сокращение избыточных передач из сегмента в сегмент);
- поддержание целостности ресурсов ЛСВУ и разграничение прав доступа к данным и ПО;
- управление очередью сетевой печати;
- управляемую со стороны системы СКАЛА-М связь с общестанционной ЛС.

Компьютеры, потребляющие ресурсы и услуги, оказываемые серверами, выполняют функции рабочих станций (РС). В зависимости от набора прикладных программ, выполняющихся на РС, различают следующие функции РС (в скобках даны их сокращенные названия):

- связь с ЦВК (**ЦВК**);
- расчет параметров энергоблока (**РАСЧЕТ**);
- отображение на пультах ВИУР (**ВИУР**);
- отображение на пультах ВИУБ (**ВИУБ**);
- отображение на пультах ВИУТ (**ВИУТ**);
- контроль работы СКАЛА-М на пультах СДИВТ (**СДИВТ**).

Функции компьютеров в ЛСВУ по степени убывания важности распределяются следующим образом:

- связь с ЦВК;
- РАСЧЕТ параметров энергоблока;
- СЕРВЕР;
- отображение на пультах ВИУР, ВИУБ, ВИУТ;
- контроль работы системы СКАЛА-М на пультах СДИВТ.

Источники бесперебойного питания (**ИБП**) обеспечивают бесперебойным электропитанием 220 В шкафы ЦВК и компьютеры,

выполняющие функции СЕРВЕРА и РАСЧЕТА, а также микросистему ДРЕГ-А.

Оба сервера работают под управлением сетевой операционной системы Novell Netware 4.1 и являются выделенными серверами Novell Netware. Каждый из серверов соединен с двумя независимыми сегментами ЛСВУ и обеспечивает связь между ними при помощи внутреннего программного маршрутизатора. Таким образом достигается совместная работа рабочих станций ЛСВУ, находящихся в двух разных сегментах и обеспечение работоспособности одного сегмента при катастрофических нарушениях в другом (КЗ, обрыв, превышение предельной пропускной способности сегмента 10 Мб/с).

В настоящее время ЛСВУ «СКАЛА» является штатной неотъемлемой частью систем нормальной эксплуатации реакторных установок (РУ).

Программное обеспечение ЛСВУ обеспечивает вычисление и представление персоналу следующих важнейших для безопасности и управления параметров РУ:

- непосредственно измеряемые параметры (расходы технологических каналов ТК, каналов СУЗ, температуры газа в системе КЦТК, положения стержней СУЗ и др.);
- мощности ТК, коэффициенты запаса по кризису и линейной нагрузке;
- распределение энерговыделения по высоте каждого ТК и положения максимумов этих распределений;
- полная энерговыработка реактора, энерговыработки ТК и амплитуды гармоник аксиальных распределений энерговыработок в каждом ТК;
- уставки безопасности по токам ДКЭ для систем АВЗР-АВЗВ.

Представление параметров осуществляется на дисплеях рабочих станций ЛСВУ, а также на телетайпах и распечатках, выводимых на сетевые печатающие устройства. Подготовка программ и их работа на ЛСВУ обеспечивается общим программным обеспечением. К общему ПО ЛСВУ относятся операционные системы, функционирующие на рабочих станциях (на РС БЩУ – Novell DOS, на РС «Расчет» – сеансы DOS многозадачной системы OS/2 WARP3), программы поддержки сети (Novell NET WARE 4.1), стандартные библиотеки и трансляторы используемых систем программирования (Microsoft Fortran 5.0, Microsoft C 5.10, Borland C2.0).

В состав специального ПО ЛСВУ входят программы, работающие по вызову.

К непрерывно работающим программам относятся:

- программа расчета мощностей ТК, коэффициентов запаса и энерговыработок ПРИЗМА (время цикла – 20 с);
- программный комплекс расчета аксиальных распределений энерговыделения, энерговыработки и вычисления уставок безопасности СТРАЖ (время цикла – 2 мин).

К программам, работающим по вызову, относятся:

- программный комплекс нейтронно-физического расчета (НФР) БОКРУС СМ, состоящий из программы подготовки данных IVA1(2) и собственно модуля НФР – программы TURB KP1 (2);
- программа корректировки рестарта PRZRST, используемая для ввода в действие результатов нового НФР, сопровождения перегрузок ТК и замены ДКЭ;
- программа отображения на дисплеях текущего состояния технологических параметров реакторной установки – ТКР; СИПО/Т;
- программа отображения на дисплеях исходных данных и результатов ПК СТРАЖ – СТРАЖ – ОБЗОР;
- программа распечаток технологических параметров РУ на сетевом принтере – PR KØG, PR KØN, PR KØE и др., всего более 40 программ.

**Представление информации.** Как было сказано выше, на рабочих станциях отображения ЛСВУ осуществляется:

- представление текущего состояния (значение параметров относительно уставок сигнализации и неисправностей трактов ввода) отображаемой информации – индикация соответствующим цветом в режиме ровного свечения;
- представление события (появление отклонений значений параметров от уставок сигнализации или неисправности трактов ввода) по отображаемой информации – индикация соответствующим цветом в режиме мигания в сопровождении при необходимости звукового сигнала (одиночного или прерывистого);
- иерархическая сигнализация текущего состояния параметров относительно уставок и трактов ввода и событий по ним:
  - индивидуальная – для одного параметра;
  - сборная – для задаваемого списка параметров;
  - сборная по кадру – для формируемого автоматически списка индивидуальных параметров и сборных сигналов, входящих в кадр;
  - квитирование события по индивидуальному или сборному сигналу;
  - одновременное квитирование события по индивидуальному параметру, участвующему в нескольких кадрах, из любого кадра;
  - иерархическое квитирование событий с переходом из элемента сборной сигнализации сразу в кадр, в котором представлен откло-

ненный параметр. Переход может осуществляться как между кадрами одного уровня, так и между кадрами разных уровней. При наличии более одного события переход может осуществляться в кадр, в котором выявлено событие более высокого уровня сигнализации (приоритет аварийного уровня над предупредительным);

- одновременное квитирование всех событий кадра;
- индикация значения индивидуальных параметров;
- индикация вычисляемого значения: максимум, минимум, сумма или разность из задаваемого списка параметров;
- индикация значения параметра, измеряемого по многоканальной схеме;
- вывод по запросу с помощью указателя мыши справочной информации:
- одновременный ввод значения всех индивидуальных или вычисляемых параметров кадра;
- одновременный вывод обозначения всех исполнительных механизмов;
- для выбранного индивидуального параметра в текстовом или графическом виде;
- для выбранного сборного, вычисляемого или измеряемого по многоканальной схеме параметра в виде формы со списком;
- иерархический интерфейс по доступу к представляемой информации:
- от сборного или вычисляемого сигнала – к любому индивидуальному параметру, участвующему в его формировании;
- переход в любой кадр;
- возврат в предыдущий кадр (вложенность до 8-и кадров);
- возврат в головной кадр рабочего места;
- выход из системы.

В процессе эксплуатации информационной системы «Скала-М» была разработана **система технологического проектирования СТП СИПО-Т**.

Разработка системы проводилась в среде программирования Visual Basic 5.0 (VB5). Стандартные средства VB5 были дополнены элементами системы технологического проектирования, созданный специально для построения информационной системы СИПО-Т, привязанной к конкретной базе данных индивидуальных и расчетных параметров. Использование стандартных средств среды VB5 и средств СТП позволяет производить разработку проекта в интерактивном режиме практически без использования традиционного программирования, что дает возможность при проектировании

оперировать терминами технологического процесса и не требует от разработчика квалификации программиста:

- разработчик проекта должен освоить методику интерактивной работы с программным проектом VB5;
- средства СТП встроены в среду разработки VB5 и работа с ними осуществляется стандартными средствами;
- процесс разработки заключается в создании системы видео-кадров, в состав которых входят различные элементы мнемосхемы и необходимый набор управляющих клавиш;
- создание новых кадров и включение их в систему, корректировка старых, выбор стандартных элементов VB5 и специализированных элементов СТП СИПО-Т осуществляется с помощью указателя мыши;
- введение системы условных цветов позволяет производить быструю настройку и корректировку цветов сразу по всем элементам с одинаковым условным цветом одновременно на всех кадрах проекта.

В целом, использование СТП СИПО-Т исключает возможность программных ошибок, повышает надежность программного продукта и значительно сокращает время разработки по сравнению с традиционными методами программирования.

Для обеспечения всего комплекса работ по разработке, испытанию и сопровождению систем «Скала» и «Скала-микро» в НПП ВНИИЭМ создан специальный стенд, на котором предусмотрена возможность отработки и сопровождения как действующего, так и вновь разрабатываемого программного обеспечения.