

**ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ
НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ ЭНЕРГБЛОКОВ АЭС
С РЕАКТОРОМ ТИПА РБМК-1000.
РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

Введение

Система, первоначально разработанная для первых двух блоков Ленинградской АЭС («СКАЛА» расшифровывалась как Система контроля аппарата Ленинградской атомной), в дальнейшем, в период с 1973 по 1991 гг., была применена на всех энергоблоках с реактором РБМК-1000 в России и на Украине.

Со времени появления в Советском Союзе энергоблоков АЭС с реактором типа РБМК-1000 на подобных объектах традиционно внедрялась система «СКАЛА», предназначенная для осуществления технологического контроля основного оборудования, а также для выполнения расчетов с выдачей обработанной информации оперативному персоналу[1].

В качестве технических средств в системе «СКАЛА» применялись разработанные и изготовленные в НПП ВНИИЭМ полупроводниковые управляющие вычислительные машины «ВНИИЭМ-3М».

Повышение требований к безопасности АЭС после аварии на Чернобыльской АЭС поставило перед коллективами-разработчиками задачи расширения объема оперативного контроля энергоблоков, повышения надежности и оперативности контроля энергораспределения, расширения комплекса нейтронно-физических расчетов, а также улучшения информационной поддержки операторов, управляющих работой энергоблока. Однако вычислительные ресурсы системы «СКАЛА» не позволяли решать подобные задачи.

В связи с этим в конце 80-х годов в НПП ВНИИЭМ была разработана программа поэтапной модернизации информационно-измерительной системы «СКАЛА». В рамках этой программы в середине 90-х годов на первой очереди Ленинградской АЭС было внедрено второе поколение информационно-измерительных систем

для АЭС - система «СКАЛА -М». В основном в те годы все усилия коллективов-разработчиков были направлены на модернизацию системы управления и защиты реакторной установки, но, кроме того, требовалось увеличение вычислительных ресурсов системы «СКАЛА». При этом объем контролируемых параметров был увеличен незначительно, а период контроля по старым параметрам практически не изменился.

Чуть позже, в начале 90-х годов, была сформулирована концепция третьего поколения информационно-измерительной системы для энергоблоков АЭС с реактором типа РБМК-1000 как открытой локальной вычислительной сети. Этот проект получил название «Скала-микро».

Целью настоящей статьи является краткий анализ результатов разработки и определение дальнейших направлений развития работ по данной тематике.

Краткие сведения о системе «Скала-микро»

Система «Скала-микро» построена на основе микропроцессорных модульных средств управляющей вычислительной техники (МСУВТ) серии В10Р и персональных компьютеров в промышленном исполнении (ККСН «ЭКСПРО»). Эти вычислительные средства были разработаны специально для нее, но впоследствии применены при изготовлении комплекса электрооборудования СУЗ для зарубежных АЭС и для 3-го блока Калининской АЭС.

Каждый зарубежный заказчик требовал специальных испытаний на устойчивость к воздействию вредных внешних факторов помимо общепринятых испытаний, проводимых при квалификации. Благодаря этому на сегодняшний день оборудование, применяемое в составе системы «Скала-микро», успешно прошло такие специфические испытания как воздействие морского климата (хлориды – $0,0011 \text{ мг/м}^3$, сульфиты – $0,029 \text{ мг/м}^3$, сернистый газ – $0,006 \text{ мг/м}^3$ и окислы азота – $0,004 \text{ мг/м}^3$), устойчивость к механическим воздействиям от удара падающего самолета и воздушной ударной волны и стойкость к воздействию плесневых грибов.

МСУВТ серии В10Р разработки и изготовления НПП ВНИИЭМ имеют в своем составе микропроцессорные устройства и устройства дискретного и аналогового ввода-вывода, объединенные шиной внутриконтроллерной магистрали (ВКМ). Протокол взаимодействия устройств по шине ВКМ разработан в НПП ВНИИЭМ. Устройства

ввода-вывода работают под управлением процессорного устройства (обычно один процессор обслуживает до 16 устройств ввода-вывода). Это процессорное устройство выполняет роль шлюза с одним из стандартных интерфейсов (это может быть ETHERNET либо последовательный интерфейс).

Персональные компьютеры в промышленном исполнении ККСН «ЭКСПРО» выполнены с использованием комплектующих изделий фирм Portwell (корпус, объединительная панель, процессорная плата) и Advantech (устройства ввода-вывода). Сборка ККСН «ЭКСПРО» производится в НПП ВНИИЭМ. Это позволяет создавать ЭВМ, максимально соответствующие решаемым задачам.

Структура системы «Скала-микро» разработана на основе следующих концептуальных положений [2]:

- все компоненты системы, включая электропитание, реализованы с повышенной надежностью, все устройства резервированы (дублированы). Это обеспечивает непрерывное функционирование системы «Скала-микро» при сбоях или отказах в отдельных устройствах и частичной потере электропитания;
- система обладает свойством открытости, обеспечивающим возможность расширения объема контролируемых параметров системы в короткие сроки;
- компоненты системы постоянно ведут самодиагностику, вплоть до типового узла замены, ее результаты в удобной форме представляются обслуживающему персоналу. Это минимизирует время восстановления отказавших элементов системы;
- при реконструкции системы сохранены старые кабельные связи с объектом.

Структура системы «Скала-микро» представлена на рисунке, где АЗРГК – аварийная защита по расходу в групповых коллекторах; БЩУ – блочный щит управления; ДКМ – дистанционная контроллерная магистраль; КСКУЗ – комплексная система контроля, управления и защиты; МИП – магнитоиндукционный преобразователь; МТК – мнемотабло каналов; РСО – рабочая станция оператора; СУЗ – система управления и защиты; ЭКП – экран коллективного пользования.

Система реализована в виде локальной управляющей вычислительной сети с четырьмя уровнями обработки информации.

Первый уровень (нижний) – уровень приема и первичной обработки информации, поступающей от индивидуальных дат-

чиков. В дальнейшем в статье этот уровень может именоваться как уровень первичной обработки информации.

Второй уровень – уровень диагностической обработки информации с формированием диагностического архива. Далее в статье этот уровень может именоваться как уровень формирования диагностического архива.

Третий уровень – уровень формирования базы данных.

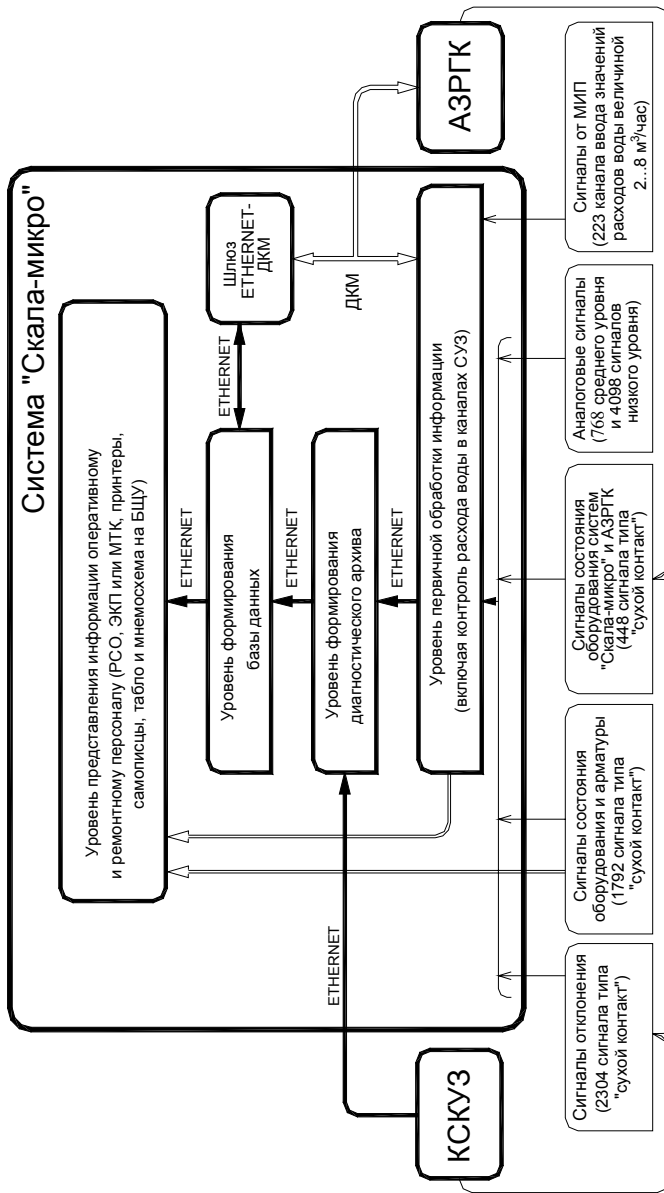
Четвертый уровень (верхний) – уровень представления информации оперативному и ремонтному персоналу.

Каждый уровень реализован на основе небольшого количества однотипных устройств, при этом при расширении объема контролируемой информации возможно добавление одной или нескольких единиц оборудования, что требует лишь перепрограммирования системы, но не требует доработки аппаратной базы на заводе-изготовителе.

Таким образом, к числу основных функций, выполняемых системой, можно отнести:

- прием информации от внешних систем;
- оперативные и неоперативные расчеты параметров реакторной установки;
- периодическая регистрация предыстории и развития аварийных ситуаций;
- контроль канальных параметров (расход воды, температура газа, мощность ТК, температура графита и т.д.) с представлением информации на мнемотабло;
- запись уставок сигнализации;
- контроль оперативного запаса реактивности на стержнях СУЗ с выдачей на индивидуальное табло, самописец и цифровой прибор;
- представление информации на мониторах рабочих станций отображения;
- передача данных в общестанционную сеть.

Модернизации систем «Скала» произошла на новых базовых средствах при условии использования существующих на АЭС первичных датчиков локальной автоматики и большей части коммуникационных связей. Отдельные элементы системы «Скала-микро» были внедрены в 2002 г. на первом энергоблоке Курской АЭС, в июне 2004 г. завершена модернизация второго энергоблока Курской АЭС, в октябре 2004 г. – первого блока ЛАЭС, в октябре 2006 г. – вто-



**Структура системы
«Скала-микро»**

рого блока ЛАЭС. В настоящее время система «Скала-микро» внедряется на третьем блоке Ленинградской АЭС.

В результате внедрения системы «СКАЛА-микро» существенно повышены эксплуатационная надежность и качество контроля энергоблока, в том числе:

- обеспечена толерантность системы к одиночным отказам, включая потерю одного из вводов энергопитания;
- сохранены существующие кабельные присоединения при замене устройств нижнего уровня;
- обеспечен оперативный обмен информацией с новой системой управления и защиты реактора (двухкомплектной КСКУЗ) по цифровому каналу связи;
- обеспечен прием информации непосредственно от датчиков расхода воды в каналах реактора с исключением промежуточных преобразователей;
- существенно повышена оперативность контроля измеряемых параметров – период контроля поканальных расходов воды снижен до 2 с (вместо 60), температурных параметров до 4 с (вместо 60), индивидуальных аналоговых параметров до 1 с (вместо 10) и дискретных параметров до 0,5 с (вместо 10);
- реализован оперативный контроль трехмерного энергораспределения реактора с циклом 5 с (ранее цикл контроля двумерного энергораспределения составлял 5 мин);
- реализована развитая система информационной поддержки операторов энергоблока с применением индивидуальных (двухэкранные рабочие станции отображения) и коллективных (экран коллективного пользования) средств представления информации;
- расширен объем и увеличена разрешающая способность системы диагностической регистрации (количество контролируемых параметров увеличено в 2-3 раза, существенно возросла глубина архивирования).

Историческим событием можно считать внедрение экрана коллективного пользования для представления параметров поканального контроля в составе системы «Скала-микро» на втором блоке Курской АЭС в ноябре 2003 г. – впервые в отечественной атомной энергетике.

Накоплен опыт эксплуатации системы – от четырех реакторолет по системе в целом до восьми по отдельным видам устройств. За

все это время не зафиксировано ни одного отказа системы по выполнению основных функций. Опыт эксплуатации позволил уточнить оценку надежности технических средств и системы в целом по результатам эксплуатации. Результаты этих расчетов подтвердили показатели надежности, заложенные в проекте.

Так, по приему и сигнализации, а также по функции ведения аварийного архива в проекте заложено время непрерывной работы не менее 20000 ч. Реально, на сегодняшний день, по приему дискретных параметров получено время более 200 тыс. ч, по ведению аварийного архива – более 200 тыс. ч, по сигнализации от внешних систем – более 250 тыс. ч, по вводу аналоговых параметров – 150 тыс. ч, сигнализация параметров поканального контроля на ЭКП – более 200 тыс. ч, ввод расходов – более 200 тыс. ч. Функция оперативного расчета параметров реакторной установки имеет время непрерывной работы более 70 тыс. ч (вместо 10000 ч, заложенных в проекте), сигнализация по расчетным параметрам – более 100 тыс. ч [3].

Помимо оценки новых проектных решений, были проведены всесторонняя оценка качества продукции, выпускаемой НПП ВНИИЭМ, и анализ комплектующих изделий. Уже в результате эксплуатации были выявлены недобросовестные поставщики и ненадежные комплектующие, а также не совсем удачные конструкторские решения. Были проведены необходимые доработки оборудования, уже находившегося на площадке (в первую очередь на Курской АЭС), и увеличен объем приемо-сдаточных испытаний, которые проходит каждая единица продукции, поставляемая на АЭС.

Основные аспекты, включаемые в понятие «качество системы»

Понятие «качество системы» включает в себя три аспекта:

- соответствие конструкции технической документации;
- качество конструкции, т.е. ее соответствие требованиям заказчика;
- конкурентоспособность, т.е. ее соответствие аналогам, скрытым потребностям заказчиков и, кроме того, платежеспособному спросу.

Качество процесса изготовления обычно контролируется ОТК. Для серьезного научно-производственного предприятия, как правило, не представляется серьезной проблемой изготовить изделие по имеющейся конструкторской документации.

Соответствие требованиям заказчика при формализованном процессе разработки и изготовления проверяется путем испытаний, начиная от приемо-сдаточных испытаний при изготовлении каждой единицы продукции и заканчивая приемочными испытаниями системы на АЭС при вводе ее в эксплуатацию. При выполнении этих испытаний, как правило, подтверждаются все функции, заявленные в техническом задании на систему.

Реальная ситуация на рынке информационных систем для АЭС сегодня такова, что достаточно просто создать систему, выполняющую все функции системы «Скала-микро» на основе существующего технического задания. В этой ситуации лидерство определяется конкурентоспособностью системы, ее способностью удовлетворить скрытые потребности пользователя. Непроданный товар не может считаться товаром высокого качества независимо от его технического уровня и других положительных характеристик [4].

Основные направления развития системы «Скала-микро»

К числу основных направлений развития системы можно отнести:

- совершенствование системы температурного контроля;
- переход на автоматический ввод резерва в устройствах нижнего уровня;
- смену сетевого протокола;
- переход на автоматическую загрузку/реконфигурацию системы;
- дисплейное управление управляющими системами нормальной эксплуатации;
- совершенствование технических средств;
- совершенствование программного обеспечения.

Совершенствование системы температурного контроля. Главной проблемой, возникшей при эксплуатации системы, можно считать, безусловно, проблему контроля температурных параметров на холодном энергоблоке. Проблема проявилась в 2003 г. при модернизации первого блока Курской АЭС. При обработке информации от термопар было обнаружено, что температура холодного спая была выше, чем горячего, из-за некорректного проекта, существовавшего, однако, не один десяток лет. Новое оборудование температурного контроля не позволяло измерять сигналы обеих полярностей с использованием одного аналогового входа. В результате, на холодном блоке, пока значение измеряемого параметра не достигало 28-30 гра-

дусов, можно было говорить лишь о сравнении параметра с установкой, основываясь на том факте, что температура в месте размещения холодного спаи выше, чем значение измеряемого параметра.*

Проблема частично решалась тем, что на имеющиеся свободные входы заводились наиболее важные сигналы в обратной полярности.

Проблему пытались решить проектным путем, однако ниже, чем до 18 градусов холодные спаи охладить не удавалось. Учитывая, что проект РБМК является типовым, было решено начать работы по доработке системы температурного контроля. В настоящее время рассматриваются три варианта решения:

- доработка кроссовой аппаратуры таким образом, чтобы можно было программно переключать полярность измеряемого параметра. Главным недостатком такого варианта является увеличение периода опроса вдвое;

- доработка устройств сопряжения таким образом, чтобы диапазон принимаемого сигнала был от минус 80 до плюс 80 мВ. Решение представляется наиболее оптимальным, однако на сегодняшний момент оно не реализовано;

- доработка устройств сопряжения под конкретную задачу и смещение диапазона принимаемого сигнала от минус 4 до 76 мВ.

Основываясь на достигнутых в настоящее время результатах, можно выразить абсолютную уверенность в том, что при вводе системы «Скала-микро» на блоках второго поколения проблема будет решена.

Переход на автоматический ввод резерва. Проблемой, всегда существовавшей у всех разработчиков резервируемых систем, является проблема ввода горячего резерва. До сих пор в системе «Скала-микро» используется лишь ручной ввод резерва оперативным или ремонтным персоналом. Первая попытка автоматического ввода резерва была предпринята в 90-е годы на Ленинградской АЭС, однако оказалась неудачной. Вторая попытка, предпринятая в 2000 г. на Курской станции в устройствах диагностической регистрации с использованием программно-аппаратных схем, была успешной во всех отношениях. В настоящее время можно констатировать, что отсутствие автоматического ввода резерва серьезно снижает качество эксплуатации системы, так как время восстановления по

* Самым удивительным представляется тот факт, что при заводских приемочных испытаниях присутствовали представители Курской станции и независимые метрологи, но на отсутствие возможности приема биполярных сигналов никто не обратил внимания.

функции сигнализации напрямую зависит от того, насколько быстро неисправность будет обнаружена персоналом станции.

В настоящее время система «Скала-микро» построена таким образом, что два канала приема информации могут работать параллельно (за исключением все тех же температурных параметров) и поэтому для них такой проблемы не существует. Таким образом, проблема автоматического ввода резерва сохраняется для системы сигнализации и при выводе информации на самописцы. Однако предварительный анализ показывает, что решения, примененные на Курской АЭС в 2000 г. вкуче с жесткой синхронизацией, заложенной в систему при ее проектировании, позволяет утверждать, что уже в ближайшей реконструкции проблема будет решена.

Переход на автоматическую загрузку/реконфигурацию системы. Третья проблема, серьезно влияющая на качество эксплуатации, – это проблема автоматической перезагрузки системы. Необходимость автоматической перезагрузки при смене сервера на верхнем уровне системы или при изменении базы данных. В настоящее время любое устройство, входящее в состав «Скалы-микро», может быть перезагружено по команде с рабочего места инженера, обслуживающего систему. При работе с отдельным устройством это вполне приемлемо, однако создает неудобства в ситуациях, требующих перезагрузки всей системы (это порядка 150 вычислителей). Как следствие человеческого фактора, большая часть дефектов, обнаруживаемых при эксплуатации системы, связана с расхождением между базой данных параметров на сервере и конфигурационными файлами низовых устройств, что снижает качество эксплуатации системы.

Смена сетевого протокола. Главной проблемой, с которой, вероятно, придется столкнуться при внедрении системы «Скала-микро» в последующий период – невозможность применения сетевого протокола IPX. Если на верхнем уровне переход на другой протокол может быть решен практически безболезненно, то в устройствах сбора информации, построенных на МСУВТ серии В10 с применением операционной системы DOS, смена сетевого протокола может оказаться серьезной проблемой. Перспективным видится решение о переходе на LINUX-подобную операционную систему, однако сегодняшние возможности МСУВТ серии В10 этого не позволяют. Основная трудность – при потере первичного электропитания оборудования не удастся корректно завершить работу программы, и новый ее перезапуск невозможен без вмешательства ремонтного персонала. Однако, при-

нимая во внимание, что питание всех устройств осуществляется от двух независимых вводов, можно заметить, что неправильное выключение может быть лишь следствием ошибок персонала.

Дисплейное управление системами нормальной эксплуатации. Здесь и далее рассматриваемый круг вопросов связан с повышением конкурентоспособности системы путем ее поддержания на недоступном для конкурентов уровне.

Главная задача в этом направлении – замена имеющегося в настоящее время оборудования управляющих систем нормальной эксплуатации (УСНЭ) на вычислительные средства НПП ВНИИЭМ с подключением их к сети «Скалы-микро». Это позволит решить несколько задач, которые пока на энергоблоках АЭС с реактором типа РБМК-1000 не решены:

- ввод в информационную систему энергоблока информации о состоянии арматуры и электроприводного оборудования (до настоящего момента в «Скалу-микро» заведены лишь конечные состояния);
- полное резервирование информации, выводимой на лампочковые табло, на дисплейных средствах «Скалы-микро»;
- решение задач диагностики состояний УСНЭ;
- возможность дисплейного управления УСНЭ с пульта оператора БЩУ.

В настоящее время предложения по модернизации УСНЭ переданы на Курскую АЭС. Очевидно, что реализация этих предложений в полном объеме позволит существенно повысить качество эксплуатации энергоблоков, построенных 25-30 лет назад.

Серьезным препятствием на пути реализации проекта может быть его высокая стоимость при использовании вычислительных средств, созданных к настоящему моменту. Если, однако, удастся усовершенствовать МСУВТ В10, то высокая надежность управляющих систем нормальной эксплуатации будет достигнута при относительно небольшой стоимости проекта – порядка 30 млн. руб. на 1000 каналов.

Совершенствование технических средств, применяемых при разработке системы. Совершенствуя технические средства, необходимо придерживаться двух концептуальных предположений:

- любая модернизация должна быть экономически оправдана;
- любая модернизация должна в конечном итоге либо повысить безопасность энергоблока, либо качество его эксплуатации.

Нередко можно слышать, что стоимость системы «Скала-микро» чрезмерно высока. В первую очередь высокая цена проекта вызвана тем, что тракты ввода информации резервируются на уровне устройств сопряжения, т.е. любой сигнал, поступающий в систему, размножается через два независимых устройства сопряжения и через два независимых процессора передается на верхний уровень. Существующий способ резервирования объясняется тем, что невозможен ремонт оборудования (в частности замена устройств сопряжения) без полного обесточивания шкафа, в котором это устройство установлено. В этом случае отказ одного канала приводит к отключению еще 200-300 на время ремонта. Если доработать МСУВТ В10 таким образом, чтобы можно было менять устройства сопряжения без выключения питания, то дублирование на уровне устройств сопряжения можно заменить на дублирование на уровне процессорных плат с соответствующей доработкой архитектуры МСУВТ В10.

Вторым фактором, серьезно влияющим на стоимость системы «Скала-микро» и препятствующим реконструкции УСНЭ, является невозможность связи процессорных устройств на нижнем уровне с двумя серверами с помощью двух цифровых линий, так как в них установлена только одна сетевая карта. В этом случае и при отсутствии резервного процессора отказ абонента на верхнем уровне приводит к потере информации от целых подсистем, а в предельном случае – практически к останову системы.

Вместе с тем, анализ надежности технических средств по результатам эксплуатации показывает [3], что МСУВТ В10 представляет собой очень высоконадежное оборудование, и его небольшая доработка может серьезно упростить архитектуру системы «Скала-микро», удешевить проект реконструкции УСНЭ на РБМК без каких-либо финансовых потерь для предприятия.

В качестве замечания отметим, что на реакторах ВВЭР-440 именно высокая стоимость всего комплекса работ, направленных на продление срока службы энергоблока, затормозила полную реконструкцию комплекса электрооборудования СУЗ.

Другим шагом на пути развития системы должен стать переход при изготовлении промышленных ЭВМ ККСН «ЭКСПРО» на шасси меньшего габарита. Часть ККСН «ЭКСПРО» устанавливается на блочном щите управления, другая монтируется непосредственно в шкафы, однако в обоих случаях очевидно, что уменьшение габари-

тов будет целесообразно как с экономической, так и с эргономической точек зрения.

Наиболее сложной задачей, которая должна быть решена и в рамках системы «Скала-микро», – унификация применяемых технических средств и решений. Это представляется одной из важнейших компонент, влияющих на ремонтпригодность системы и на ее удобство в обслуживании. Кроме того, унификация также свидетельствует о высоком качестве проектирования.

Совершенствование программного обеспечения. В ходе поэтапного развития системы стало ясно, что при разработке программного обеспечения систем сбора информации и сигнализации, за исключением системы контроля расходов воды, может быть создана единая базовая программа и САПР, которые должны упростить ввод системы в эксплуатацию на типовом энергоблоке, т.е. в ситуации, которая сложилась на РБМК. Это объясняется тем, что весь нижний уровень построен на единых технических средствах (в системе контроля расходов воды применен другой тип процессоров). Применение единого программного обеспечения позволит существенно повысить надежность системы, потому что отладить одну программу, очевидно, проще, чем 5-6, используемых в настоящее время. Кроме того, это серьезно облегчает сопровождение системы при ее эксплуатации на АЭС. Подобная задача, по всей видимости, может быть решена при переходе на LINUX-подобную операционную систему.

Независимо от перехода на новую операционную систему должна быть поставлена задача создания стенда системы «Скала-микро», возможно, с использованием моделей или имитаторов устройств нижнего уровня и полномасштабной сетью для исследования функционирования в различных режимах работы блока или при смене отдельных элементов системы.

Заключение

Направление по созданию информационных систем для энергоблоков АЭС с реактором типа РБМК-1000 появилось в институте в 1970 г. Очевидно, что катастрофа в Чернобыле привела в тому, что строительство подобных энергоблоков прекращено. Однако это не означает, что развитие работ по системе «Скала-микро» лишено смысла.

Концерн «Росэнергоатом» проводит работы по продлению срока службы свыше установленного (30 лет) уже существующих энергоблоков подобного типа. В настоящее время завершена реконструкция на четырех блоках, в период с 2007 по 2015 гг. предстоят подобные работы на семи объектах. Реконструкция системы «Скала» входит в перечень обязательных мероприятий, выполняемых при продлении срока службы. Вопрос реконструкции УСНЭ не рассматривался из-за отсутствия финансирования, так как предложения ВНИИЭМ были сформулированы несколько позже, чем того требовали обстоятельства (перечень работ по реконструкции блока в период продления срока службы составляется за пять лет до истечения назначенного срока эксплуатации).

Кроме того, выбывание действующих мощностей в период с 2017 по 2031 гг. практически полностью (это касается не только блоков с реактором РБМК, но и ВВЭР) делает неизбежным бурное развитие атомной энергетики в последующие два-три десятка лет. Опыт, накопленный при создании и эксплуатации системы «Скала-микро», должен быть обязательно учтен при разработке комплекса электрооборудования СУЗ нового поколения. Его цифровая часть строится в основном на тех же средствах, что и система «Скала-микро», но при этом последняя гораздо более устойчива к изменениям в режиме работы энергоблока и обладает гораздо более развитой системой самодиагностики.

Таким образом, основными векторами развития работ по системе «Скала-микро» должно стать повышение качества эксплуатации системы при уменьшении ее стоимости с тем, чтобы атомная энергетика в конечном итоге была не только безопасна, но и оставалась эффективной.

Литература

1. ОАБ.402.060.ТО. Система Скала. Техническое описание.
2. Джумаев С.Д. Разработка и ввод в эксплуатацию нового поколения информационно-измерительной системы «Скала-микро» / С.Д. Джумаев. – М.: Электротехника, 2005. – №6.
3. Казачкин М.В. Анализ надежности оборудования информационно-измерительной системы «Скала-микро» / М.В. Казачкин, А.Е. Илларионов. – [См. наст. том.]
4. Крылова Г.Д. Зарубежный опыт управления качеством / Г.Д. Крылова. – М., 1992.