

ЯДЕРНАЯ И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ



4 ' 2005

УДК 621.039.058:681.324

А.Х. Горелик¹⁾, В.В. Елисеев²⁾, А.С. Кужиль³⁾, В.А. Орловский¹⁾, С.П.Падун³⁾, В.Ф. Якубов²⁾

КОНЦЕПЦИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ ВНУТРИРЕАКТОРНОГО КОНТРОЛЯ ВВЭР-1000 АЭС УКРАИНЫ

¹⁾Харьковский научно-исследовательский институт комплексной автоматизации

²⁾ЗАО «Северодонецкое научно-производственное объединение «Импульс»

³⁾Российский научный центр «Курчатовский институт»

Рассмотрены основные положения концепции модернизации СВРК АЭС Украины на базе программно-технических средств производства ЗАО «СНПО «Импульс» и математического и программного обеспечения (МПО) «Круиз». Приведены функции и характеристики модернизированной СВРК.

ВВЕДЕНИЕ

В рамках выполнения Распоряжения Кабинета министров Украины №504-р от 29.08.2002 г. «Комплексная программа модернизации и повышения безопасности энергоблоков атомных станций» и документа НАЭК «Энергоатом» «Программа проведения поузловой замены подсистем АСУ ТП энергоблоков ВВЭР-1000, ВВЭР-440 на 2000 – 2006 годы» в Украине накоплен значительный опыт замены устаревшего оборудования, математического и программного обеспечения при модернизации систем внутриреакторного контроля (СВРК) энергоблоков АЭС. СВРК представляет собой часть АСУ ТП энергоблока с реактором ВВЭР-1000 и предназначена для обеспечения безопасной и экономичной эксплуатации реакторной установки (РУ) в энергетическом диапазоне путем сбора, обработки и представления оператору информации по основным параметрам активной зоны (АкЗ) первого и второго контуров РУ. СВРК относится к системам, важным для безопасности АЭС [1].

На основе накопленного опыта работ созданы условия для комплексной реализации проекта модернизации СВРК АЭС Украины на следующих принципах:

- реализация единой технической политики модернизации СВРК;
- создание серийной модернизированной СВРК (СВРК-М) на базе унифицированных технических, математических и программных средств;
- создание эффективной организационной структуры, обеспечивающей разработку, внедрение и сопровождение СВРК-М в течение всего жизненного цикла;
- научно-техническое обеспечение дальнейшего расширения функциональных возможностей СВРК-М в процессе эксплуатации.

Далее сформулированы основные положения концепции по проекту модернизации СВРК АЭС Украины на базе математического и

программного обеспечения (МПО) «Круиз» (разработки СНИИП-Атом), которое имеет большую референтность применения на АЭС с ВВЭР, и технических средств производства ЗАО «СНПО «Импульс» [2].

1 КОНЦЕПЦИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ СВРК ВВЭР-1000

Целью проведения поэтапной комплексной модернизации СВРК на АЭС Украины является обеспечение безопасной и экономичной эксплуатации активных зон, в том числе и с новыми топливными циклами на основе тепловыделяющей сборки альтернативной конструкции (ТВСА), как в базовом, так и в маневренном режиме.

1.1 Оценка состояния действующих СВРК и предпосылки для их модернизации

При разработке СВРК различают два основных подхода – с постоянным (технология ВВЭР) и периодическим (технология PWR) присутствием внутризонных датчиков энерговыделения для контроля распределения энерговыделения в активной зоне.

Вследствие развития топливоиспользования в настоящее время применяются новые виды топлива, увеличивается длительность топливных кампаний, производится переход на эксплуатацию топлива в течение четырех-пяти топливных циклов, применяются малоутечные топливные компоновки, используется топливо с интегрированным выгорающим поглотителем. При этом, в связи с переводом реакторов PWR и ВВЭР на топливные циклы с более высоким обогащением топлива подпитки и увеличением выгорания выгружаемого топлива, возрастает неравномерность в размножающих свойствах топлива и полях энерговыделения в активной зоне, что не позволяет получить достоверный контроль за активной зоной только при помощи внезонных детекторов и периодического использования внутризонных. В настоящее время западными фирмами производится

переход к постоянному контролю за активной зоной при помощи постоянно присутствующих в реакторе внутризонных детекторов.

В действующих проектах реакторов ВВЭР-1000 в настоящее время эксплуатируется двухуровневая СВРК [3] с нижним уровнем аппаратуры «Гиндукуш» и верхним уровнем на базе СМ-2М с внешним математическим программным обеспечением (ВМПО) «Хортица». К настоящему моменту оборудование, математическое и программное обеспечение (ПО) СВРК ВВЭР-1000 морально устарело. Аппаратура СМ-2М и «Гиндукуш» более не выпускаются, заводами-изготовителями также прекращен выпуск их комплектующих для ЗИП.

Ввиду существенных ограничений расчетных возможностей ВМПО «Хортица» в существующих СВРК, цели, поставленные перед ее разработчиками, были достигнуты не в полном объеме.

В связи с внедрением на энергоблоках ВВЭР-1000 новых топливных циклов (в том числе – на основе ТВСА) и, соответственно, увеличением глубины выгорания существует реальная возможность потери контроля за эксплуатацией активных зон из-за реализации ВМПО СВРК «Хортица» на основе целочисленной арифметики¹.

Подход к выбору и обоснованию ограничений, накладываемых на эксплуатационные параметры, применяемый в настоящее время в проекте реакторной установки ВВЭР-1000, состоял в необходимости расчета большинства параметров с так называемыми коэффициентами запаса. В связи с этим при эксплуатации РУ ряд ограничений накладывается не только на параметры, непосредственно влияющие на безопасность, но и на связанные с данным параметром интегральные величины с соответствующими коэффициентами запаса. Данный подход был обусловлен двумя факторами:

отсутствием необходимого количества качественных экспериментальных данных по данному типу топлива, реакторной установке и др.;

отсутствием на момент проектирования мощных комплексных расчетных кодов, описывающих большинство процессов, протекающих в РУ, и достаточных для таких вычислений вычислительных мощностей.

К настоящему времени оба эти фактора либо устранены полностью, либо находятся в процессе устранения (накоплен значительный опыт эксплуатации ВВЭР-1000 в несколько сотен реакторо-лет, фактически сняты ограничения на объем производимых вычислений, разработаны или разрабатываются комплексные коды, адекватно

описывающие процессы, проходящие в РУ в любых режимах эксплуатации).

Текущее состояние научно-технической базы, при соответствующем изменении проекта РУ ВВЭР-1000, позволяет отказаться от избыточного консерватизма, заложенного в ограничения на эксплуатацию РУ. Например, по инициативе финской стороны был пересмотрен проект РУ ВВЭР-440 для АЭС «Ловиза», что позволило поднять электрическую мощность РУ с 440 до 500 МВт. Фактически, пересмотр проекта РУ ВВЭР-1000 может обеспечить увеличение отпускаемой электрической мощности РУ на 4-10%, расширить спектр компоновочных решений для активных зон при обеспечении непосредственного контроля критических параметров при эксплуатации. Например, при компоновке активных зон ограничивается не только локальное энерговыделение в ТВЭЛе, но и, в связи с невозможностью их контроля при помощи ВМПО «Хортица», ограничиваются интегральные величины (K_r , K_v , K_d), что существенно уменьшает спектр компоновочных решений для активных зон и, зачастую, длительность эксплуатации топливных загрузок.

В связи с растущей долей энерговыработки на АЭС Украины в общей энерговыработке страны, становится актуальным вопрос о переводе части ядерных генерирующих мощностей в режим маневрирования мощностью. Для обеспечения эксплуатации топлива и РУ в режимах маневрирования мощностью также важен контроль при эксплуатации за величинами локального энерговыделения (которые ранее не контролировались ВМПО «Хортица»), а также за режимами эксплуатации критических узлов РУ.

1.2 Основные особенности раздела нейтронно-физических расчетов СВРК-М

В процессе разработки и внедрения МПО «Круиз» по решению ГП НАЭК «Энергоатом» прошло всестороннюю экспериментальную проверку в телеметрическом режиме на Запорожской, Южно-Украинской и Ровенской АЭС в течение 2003 – 2004 годов. Также учитывался опыт эксплуатации МПО «Круиз» на других АЭС с ВВЭР [4-7].

В ядре раздела нейтронно-физических расчетов МПО «Круиз» для оценки поля энерговыделения реализован алгоритм, в котором интерполяция по пространству и экстраполяция по времени поля энерговыделения осуществляется с помощью дискретного аналога двухгруппового трехмерного уравнения диффузии нейтронов (аналог аттестованного кода БИПР-7А) с моделью адаптации к показаниям внутриреакторных детекторов. Такой подход, помимо преемственности по отношению к проектным и исследовательским программам, обеспечивает учет измерений непосредственно в ходе решения уравнения и, тем самым, позволяет естественно увязать медленную эволюцию поля энерговыделения с быстрыми вариациями при

¹ При достижении глубины выгорания ТВС в расчетной призме около 57 МВт·сут/кг U происходит переполнение разрядной сетки в расчетных параметрах раздела физрасчета активной зоны, что приводит к полной недостоверности контроля за распределением поля энерговыделения.

управляющих воздействиях.

По аналогии с БИПР-7А используется 7-ми точечное приближение расчетного слоя ТВС, что позволяет корректно отслеживать межкассетные перетоки нейтронов, а это особенно важно для гетерогенной активной зоны, сформированной из соседних ТВС с существенно отличающимися размножающими свойствами. Такая модель дает существенно лучшее совпадение по сравнению с моделью ВМПО «Хортица» с фактическим (измеренным) полем энерговыделения. В ядре модели также в явном виде используются простейшие теплофизические модели (в адиабатическом приближении) для расчета используемых в расчете нейтронно-физических характеристик (НФХ) температурных полей топлива и теплоносителя. Модель использует в качестве исходных данных также положение органов регулирования системы управления и защиты (ОР СУЗ) реактора, значения температур, расходов и другую необходимую фактическую информацию.

В отличие от ВМПО «Хортица» МПО «Круз» проводит адаптацию путем внесения 14 зонированных поправок к «быстрой» составляющей нейтронного потока (7 по высоте в каждой из двух зон «центр» и «периферия»), что отвечает физической природе процессов в активных зонах (в частности, описывает изменение утечки и перетока «быстрой» составляющей нейтронного потока). Минимизация отклонений расчетного поля от показаний внутриреакторных детекторов по-прежнему производится методом наименьших квадратов.

Расчет локальных параметров поля энерговыделения осуществляется на основании интерполяции заранее насчитанных проектным аттестованным кодом ПЕРМАК-А микрополей в ТВС для различных состояний реактора на фактическое распределение поля энерговыделения в ТВС, получаемое в данный момент алгоритмом восстановления поля энерговыделения.

Непрерывный контроль за изменением всех эксплуатационных параметров активной зоны реактора позволил внедрить предупредительную защиту реактора второго рода по локальным параметрам энерговыделения (запрет на подъем мощности).

Ядро раздела нейтронно-физических расчетов в МПО «Круз» совместимо с моделями, разработанными для задач исследования и проектирования ядерных реакторов, за счет чего появляется возможность использования части результатов в моделях, предназначенных для применения на этапе эксплуатации (особенно это относится к константному обеспечению), приобретает возможность непосредственного сравнения реального хода кампании с запланированным и выявления причин отличий. Наличие родственных «канонизированных» проектных и исследовательских моделей дает определенную эталонную базу для

эксплуатационных моделей. В МПО «Круз» использованы эффективные и быстродействующие алгоритмы оценки состояния активной зоны с учетом всех особенностей объекта контроля и возможностей используемых математических моделей. Одним из важнейших свойств разработанного алгоритма синтеза поля энерговыделения является его малая чувствительность к изменению объема входной информации. При отказе ряда датчиков (например, термопар), сбоях в электронно-измерительном тракте система продолжает выдавать информацию о поле энерговыделения. При этом лишь возрастает погрешность соответствующих величин.

В МПО «Круз» также реализована возможность предсказания отклика параметров активной зоны на регулирующие воздействия оператора (в режиме советчика оператора). Для упрощения контроля за состоянием активной зоны персоналу АЭС предоставлена возможность генерации произвольных видеogramм, при этом все эксплуатационные пределы и пределы безопасной эксплуатации РУ контролируются автоматически и, в случае их достижения, оператор РУ получает соответствующий сигнал и видеogramму.

Архивация параметров эксплуатации активных зон позволяет в СВРК-М с МПО «Круз» восстанавливать полную и достоверную картину эксплуатации активной зоны и РУ в целом (как измеряемых величин, так и величин, рассчитываемых МПО) для последующего моделирования исходных условий и протекания процессов (в том числе – в условиях нарушения нормальных условий эксплуатации).

1.3 Базовый вариант модернизированной системы внутриреакторного контроля ВВЭР-1000

В качестве базового варианта модернизации СВРК энергоблоков ВВЭР-1000 АЭС Украины предлагается СВРК-М, апробированная на энергоблоках № 4 Ровенской [8] и №1 Хмельницкой АЭС. Общая структурная схема базового варианта СВРК-М ВВЭР-1000 приведена на рис.1. На рисунке приведены общепринятые названия узлов сети (которые могут изменяться в проекте СВРК-М для конкретного энергоблока):

- БЩУ – блочный щит управления;
- ИВС - информационно-вычислительная система энергоблока [9];
- ИДС – инженерно-диагностическая станция;
- ККСО – концентратор комплекса связи с объектом;
- МСКУ – микропроцессорный субкомплекс контроля и управления [10];
- МСКУ ВРК – МСКУ подсистемы внутриреакторного контроля;
- МСКУ КРУ – МСКУ подсистемы контроля реакторной установки;
- РМКФ – рабочее место контролирующего физика;
- РМОП – рабочее место обслуживающего

- персонала СВРК-М;
- РМРО – рабочее место оператора реакторного отделения;
- РМСП – рабочее место системного программиста;
- САД – сервер архивирования и документирования;
- СВУ – сервер верхнего уровня;
- СДИРК – рабочее место сменного дежурного инженера;
- СК – сетевой коммутатор;
- СОК – сервер оперативного контроля;
- ШлНП – шлюз неоперативного персонала.

СВРК-М построена в виде распределенной вычислительной системы со степенью резервирования, достаточной для выполнения проектных требований надежности и времени выполнения функций, а также возможностью дальнейшего расширения.

СВРК-М состоит из:

- комплекса связи с объектом (КСО), выполняющего сбор и предварительную обработку сигналов ВРК и РУ;
- подсистемы внутриреакторных расчетов, архивирования и отображения информации;
- подсистемы поддержки эксплуатации СВРК-М, включающей удаленные рабочие места контролирующего физика, системного программиста, обслуживающего персонала.

Предлагаемая структура СВРК-М представляет собой базовый вариант системы, обеспечивающий возможность дальнейшего развития по следующим направлениям:

- реализация расширенных расчетных и прогнозных модулей информационной поддержки оператора;
- интеграция СВРК-М и ИВС энергоблока;
- диверсификация платформ (операционных систем) для уменьшения вероятности отказа по общей причине.

Дальнейшее развитие СВРК-М осуществляется модернизацией прикладного программного обеспечения без существенных изменений в составе технических средств.

Комплекс связи с объектом (КСО). КСО СВРК-М состоит из восьми узлов (МСКУ ВРК1 ÷ МСКУ ВРК6, МСКУ КРУ 1, КРУ 2), обеспечивающих прием, измерение и предварительную обработку сигналов датчиков энерговыделения, термоконтроля, нормированных аналоговых сигналов среднего уровня, дискретных потенциальных сигналов и сигналов типа «сухой контакт». Кроме этого, комплексы МСКУ ВРК обеспечивают прием и измерение сигналов термоконтроля каналов нейтронных измерительных.

МСКУ объединены дублированной локальной сетью нижнего уровня на базе промышленной сети МАПС [10]. Связь с верхним уровнем осуществляется с помощью концентратора КСО - шлюзовых станций ПС5120 - по протоколу

TCP/IP по оптическим каналам связи.

Подсистема внутриреакторных расчетов, архивирования и отображения. Подсистема включает рабочие станции ПС5120 в заказных исполнениях следующего функционального назначения:

- рабочие места операторов реакторного отделения БЩУ;
- сервер архивирования и документирования;
- серверы оперативного контроля;
- рабочее место сменного дежурного инженера;
- сервер верхнего уровня.

Функциональные узлы подсистемы объединены дублированной ЛВС Ethernet по протоколу TCP/IP с помощью активных коммутаторов, обеспечивающих отсутствие коллизий при передаче данных. Линия связи – оптоволоконный кабель, пропускная способность – 100 Мбит/сек. Пропускная способность коммутатора Ethernet – 4 Гбит/сек.

Подсистема поддержки эксплуатации СВРК-М. Подсистема включает удаленные рабочие станции ПС5120 следующего функционального назначения:

- рабочее место контролирующего физика;
- рабочее место системного программиста;
- рабочее место обслуживающего персонала лаборатории СВРК-М.

Функциональные узлы данной подсистемы объединены нерезервированной локальной сетью Ethernet посредством коммутатора с оптическими каналами связи. Связь подсистемы с верхним уровнем осуществляется через рабочую станцию ПС5120 – сервер верхнего уровня.

Техническое обеспечение СВРК-М. Техническое обеспечение СВРК-М включает следующие изделия, поставляемые по Техническим условиям:

- микропроцессорные комплексы МСКУ 2 в заказных исполнениях по согласованным спецификациям;
- рабочие станции ПС5120 в заказных исполнениях по согласованным спецификациям;
- комплект ЗИП в согласованном объеме.

Для рабочих станций всех типов системные блоки комплектуются процессором Pentium4 с тактовой частотой не менее 1700 МГц и ОЗУ не менее 256 Мб. Операторское оборудование рабочих станций определяется в картах заказах по согласованию с Заказчиком. Рабочие места оперативного персонала (операторов БЩУ, станция дежурного инженера и станция системного программиста) комплектуются цветными TFT мониторами с размером экрана 21". Остальные рабочие станции комплектуются мониторами в соответствии с согласованными картами заказа.

Сервер архивирования/документирования оборудован накопителем долговременного архива, а также двумя принтерами.

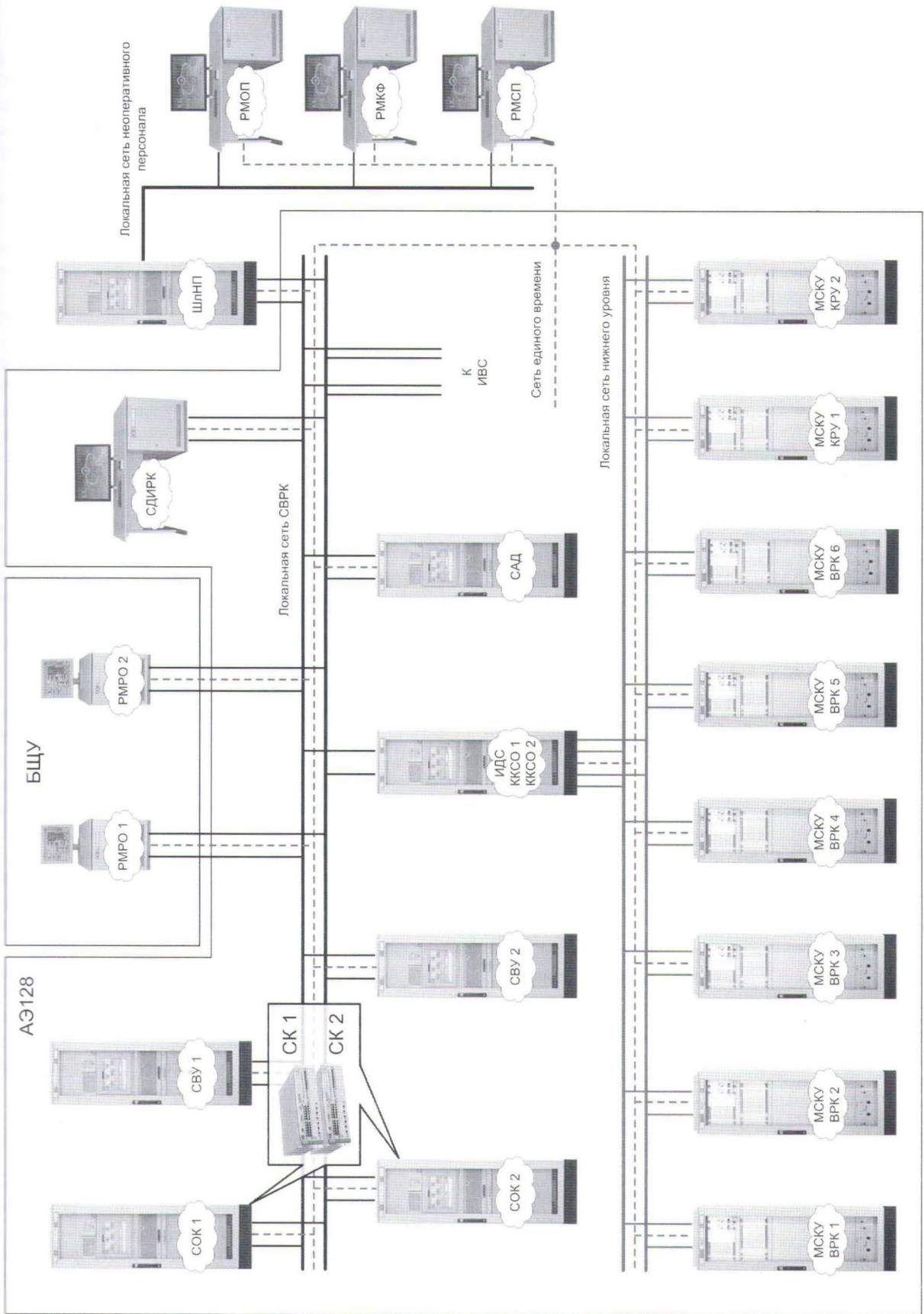


Рис. 1 Структурная схема базового варианта СВРК-М

В качестве локальных сетей используется стандартная сеть типа Ethernet на основе оптоволоконного кабеля с пропускной способностью 100 Мбит/с.

Технические средства СВРК-М обеспечивают прием сигналов единого времени по протоколу, совместимому с синхронизатором Ч7-43, с погрешностью по отношению к источнику единого времени не более ± 2 мс.

Основные характеристики СВРК-М приведены в разделе 3.

Особенности СВРК-М на базе МПО «Круиз». Программно-технические средства в СВРК-М с МПО «Круиз» разработаны на основе апробированных на АЭС решений, таких как: средства самодиагностики, сервер архивации, механизм обмена данными внутри ЛВС СВРК-М и с внешними потребителями. Следует упомянуть, что в Украине на энергоблоках ВВЭР-440 Ровенской АЭС уже успешно эксплуатируются СВРК с реализованными в них аналогичными программными решениями, в том числе – алгоритмом НФХ расчета и восстановления поля энерговыделения (различие между данными алгоритмами для ВВЭР-1000 и ВВЭР-440 составляет менее 2%). Таким образом, в базовом варианте СВРК-М с МПО «Круиз» реализована возможность контроля активной зоны (во всем спектре нагрузок, реализуемых в настоящее время на АЭС) в стационарных и переходных режимах, в том числе, при необходимости, – в режимах маневрирования мощностью.

Особенности предлагаемого решения:

- обеспечение безопасной эксплуатации активных зон ВВЭР-1000;
- реализация новых функций (по сравнению с предыдущим поколением СВРК на базе ВМПО «Хортица»), повышающих качество внутриреакторного контроля, включая:
 - оперативную оценку распределения энерговыделения по высоте всех ТВЭЛ в активной зоне и возможность сравнения их с уставками, зависящими от выгорания в ТВЭЛ;
 - корректировку инерционности сигналов датчиков прямого заряда (ДПЗ);
 - формирование сигналов предупредительной защиты (ПЗ-2) на ограничение мощности реактора;
 - прогноз распределения энерговыделения при заданных управляющих воздействиях;
 - возможность контроля качества оперативного восстановления поля энерговыделения;
- унификация решений по программно-техническим средствам, реализованных в ИВС и СВРК;
- повышение надежности выполнения функций за счет диверсификации (разнообразия) операционных сред, в том числе для представления информации оперативному персоналу и архивов;

- открытость предлагаемых решений для дальнейшей модернизации, развития и обеспечения поэтапного внедрения.

Основные особенности СВРК-М:

- полностью совместима с установленными в настоящее время на энергоблоке ВВЭР-1000 внутриреакторными датчиками (каналы нейтронные измерительные (КНИ), термодатчики (ТД), термосопротивления (ТС), компенсационные коробки, шлейфы к ним);
- обеспечивает функции самодиагностики и резервирования;
- обеспечивает все проектные требования по надежности функционирования и достоверности контроля;
- имеет многоуровневую защиту от несанкционированного доступа и вмешательства.

СВРК-М допускает возможность дальнейшего развития и модернизации в процессе эксплуатации. Изменения состава, схемы, конструкции, режимов работы оборудования и/или программного обеспечения могут проводиться Поставщиком по желанию Заказчика.

Функции системы. СВРК-М предназначена для непрерывной круглосуточной эксплуатации в составе РУ ВВЭР-1000 в режимах нормальной эксплуатации и в режимах с нарушением нормальной эксплуатации, обеспечивает выполнение следующих функций:

- 1) При работе энергоблока в диапазоне от 10% до 120% номинальной мощности:
 - контроль за распределением мощности в активной зоне реактора и формирование сигналов предупредительной защиты при превышении допустимых значений параметрами, непосредственно определяющими безопасность эксплуатации активной зоны реактора;
 - своевременное обнаружение отклонений параметров РУ, определяющих пределы безопасной эксплуатации, за допустимые пределы и оповещение персонала с целью предотвращения развития аварий и исключения повреждений основного технологического оборудования РУ;
 - обеспечение информационной поддержки операторов РУ для оптимизации управления технологическим процессом в переходных режимах;
 - регистрацию и хранение измеренной и расчетной информации, достаточной для однозначного установления исходных событий возникновения нарушений нормальной эксплуатации и аварий, их развития;
 - формирование и ведение долговременного (многолетнего) архива работы АкЗ реакторной установки;
 - передачу данных в информационную сеть энергоблока (ИВС и др.) и общестанционную АСУ АЭС;

- контроль работоспособности и метрологических характеристик измерительных каналов в процессе эксплуатации;
- 2) При работе энергоблока в диапазоне от 0 до 10% номинальной мощности - контроль температуры, давления и расходов теплоносителя в I и II контурах;
- 3) При останове энергоблока - профилактический контроль и ремонт;
- 4) Обеспечение эксплуатации топливных загрузок АкЗ с ТВСА в проектных и перспективных топливных циклах.

СВРК-М обеспечивает выполнение перечисленных функций в режиме нормальной эксплуатации, режимах нарушения нормальной эксплуатации и аварийных режимах. Никакие нарушения в работе системы не могут стать исходными событиями для нарушения работы систем безопасности.

Отображение контролируемых СВРК-М параметров осуществляется на экраны мониторов рабочих мест операторов-технологов на БЩУ РМРО-1,2 в форме видеogramм (таблиц, графиков, гистограмм) и сигнализации нарушений.

Функции СВРК-М реализуются в рамках следующих функциональных подсистем:

- контроля и регистрации;
- внутрореакторных расчетов;
- поддержки функционирования;
- автоматизированной настройки.

Подсистема контроля и регистрации информации реализует следующие задачи:

- сбор и обработка сигналов датчиков, вводимых через КСО;
- обмен информацией по ЛВС;
- обмен информацией с внешними системами;
- отображение информации на мониторах рабочих мест персонала;
- сигнализация нарушений;
- регистрация (архивирование и документирование) информации.

Подсистема внутрореакторных расчетов реализует следующие задачи:

- контроль состояния РУ, а именно:
 - расчет электрических и физических значений измеряемых параметров;
 - расчет тепловой мощности реактора по значениям параметров, относящихся к 1-му и 2-му контурам РУ, по показаниям ДПЗ и ионизационных камер (расчет тепловой мощности выполняется в цикле обновления результатов измерений);
 - синтез поля энерговыделения, расчет энерговыделения производится в 16 точках по высоте в каждой кассете в цикле обновления результатов измерений;
 - расчет температур на выходе ТВС и подогревов (расчет выполняется в цикле обновления результатов измерений);

- расчет разогрева/расхолаживания 1-го контура РУ (расчет выполняется в цикле обновления результатов измерений);
- расчет функционалов поля энерговыделения (расчет выполняется в цикле обновления результатов измерений): расчет мощностей ТВС, расчет коэффициентов неравномерности K_o , K_v , K_r и K_q , определение параметров наиболее энергонапряженных ТВС: координат, мощностей, K_o , K_v , K_r , K_q , подогревов, запасов до кризиса теплообмена, запасов до уставок по q_l , (уставки по q_l задаются с учетом выгорания);
- расчет энерговыработки и концентрации отравителей в объеме активной зоны;
- расчет линейной нагрузки в слоях по высоте каждого ТВЭЛ (q_l), коэффициентов неравномерности энерговыделения в кассетах и коэффициентов нагрузки центральных ТВЭЛов;
- контроль состояния РУ в СОК: регламентный контроль, предупредительный контроль, контроль за изменением основных технологических переменных;
- формирование команд предупредительной защиты активной зоны по следующим параметрам: локальное энерговыделение ТВС, запас до кризиса теплообмена, превышение допустимого значения температуры на выходе ТВС;
- прогнозирование состояния РУ при заданных управляющих воздействиях в пределах текущей компании по полю энерговыделения и критической концентрации борной кислоты в теплоносителе первого контура (под управляющими воздействиями здесь понимается значение или последовательность изменяющихся во времени значений следующих переменных: положение ОР СУЗ; тепловая мощность активной зоны; расход теплоносителя через реактор; температура на входе в активную зону; давление над активной зоной);
- расчет состояний СВРК-М по следующим параметрам:
 - расчет чувствительности ДПЗ (выполняется автоматически по мере изменения значений параметров, от которых зависит чувствительность);
 - расчет градуировочных поправок к показаниям термодатчиков, который выполняется в режиме разогрева реактора по запросу оператора (обеспечена возможность расчета указанных поправок тремя способами: использование в качестве опорной температуры среднего значения температуры на выходе из кассет, использование в качестве опорной температуры средней температуры по показаниям термометров сопротивления в петлях главного циркуляционного контура, использование в качестве опорной

- температуры, рассчитанной по давлению в парогенераторе);
- контроль деградации СВРК-М;
- отображение информации и сигнализация нарушений:
 - вывод информации из базы данных СВРК-М о текущем и прошедшем состоянии РУ, а также диагностической информации о состоянии СВРК-М на экраны рабочих станций в виде заранее подготовленных экранных форм (видеокадров);
 - вывод информации на устройства печати в виде заранее подготовленных бланков печати и копий изображений на экранах рабочих станций;
- архивирование (в виде краткосрочного и долговременного архивов):
 - архивирование значений аналоговых и дискретных параметров;
 - архивирование событий;
 - накопление отчетных (статистических) данных;
 - формирование и обслуживание долговременного архива;
 - представление и документирование архивной информации.
- сервисные функции:
 - возможность определения соответствия положения КНИ и ТП координатной сетке по запросу оператора;
 - корректировка базы данных о перегрузке топлива и замене КНИ.

Подсистема поддержки функционирования реализует следующие задачи:

- диагностирование состояния технических и программных средств СВРК-М (глубина диагностирования технических средств – до типового элемента замены для МСКУ, программных средств – до выполняемого процесса), а именно:
 - диагностирование технических и программных средств МСКУ;
 - диагностирование технических и программных средств концентраторов КСО и рабочих станций;
 - диагностирование сетевых средств;
 - определение достоверности сигналов датчиков (проводится в СОК после каждого приема сигналов по "воротам" и по скорости изменения);
 - контроль достоверности оценок технологических величин (проводится при каждом расчете этих величин);
 - периодическая проверка целостности константной части базы данных;
 - контроль достоверности восстановленного поля энерговыделения в каждом расчетном цикле;
 - контроль рассчитанных в серверах оперативного контроля значений переменных

- состояния активной зоны (контроль проводится в сервере верхнего уровня сравнением результатов двух серверов оперативного контроля);
- сравнение (по запросу оператора) восстановленных полей энерговыделения с расчетом без датчиков с учетом реального графика работы реактора (реализовано в РМКФ);
- управление функционированием СВРК-М:
 - загрузка МСКУ со станции СДИРК по инициативе оператора;
 - восстановление отключенного канала МСКУ из соседнего канала;
 - задание МСКУ режима обмена данными по ЛВС, контроль информационных потоков и их восстановление при сбоях;
 - контроль состояния и автоматическая перезагрузка МСКУ из концентраторов;
 - управление режимами функционирования рабочих станций;
 - контроль состояния концентраторов и рабочих станций, автоматическое восстановление работоспособности (перезапуск);
 - реконфигурация дублированных концентраторов;
- метрологическая поверка измерительных каналов (заключается в автоматизированном определении и контроле метрологических характеристик измерительных каналов от входа до базы данных при наладке, испытаниях и в процессе эксплуатации);

Подсистема автоматизированной настройки реализует следующие задачи:

- генерация структур баз данных;
- ввод, структурирование и редактирование исходных данных;
- генерация настроечных данных.

Основные технические решения по информационному обеспечению. Основными

техническими решениями по информационному обеспечению СВРК-М являются: реализация системы информационной поддержки оператора РУ; наличие диагностики состояния и режимов эксплуатации технологического оборудования (отображение информации, расчет технико-экономических показателей); наличие диагностики состояния технических и программных средств; наличие функций регистрации информации в нормальном и аварийном режимах, обеспечивающих возможность установления исходных событий при возникновении нарушений нормальной эксплуатации и аварий и при их развитии; наличие защиты от несанкционированного доступа; наличие средств защиты от сбоев и отказов в системе с помощью контроля состояния и управления функционированием СВРК-М, восстановление или реконфигурация МСКУ, рабочих станций,

резервирование ЛВС;
 реализация операторского интерфейса, не требующего навыков программирования;
 организация программной системы на базе принципов структурного программирования с использованием ограниченного набора системных программных средств (операционные системы, система управления базами данных (СУБД));
 организация информационной базы на единых принципах структурирования данных с использованием ограниченного набора унифицированных структур данных, поддерживаемых средствами СУБД.

Основными техническими решениями по структуре информационного и организационного обеспечений СВРК-М, являются:

создание функциональной структуры, построенной по иерархии “подсистема функция-задача” с разделением основных и вспомогательных функций;
 разработка технической структуры с использованием современных серийных средств вычислительной техники в исполнении «для АЭС»;

создание информационного обеспечения с использованием системы классификации и кодирования, принятой для АЭС с реакторами ВВЭР-1000, стандартизированных сигналов и связей, унифицированных форм документов и видеogramм, организацией информационных массивов в виде баз данных, поддерживаемых СУБД;

создание программного обеспечения с использованием фирменных продуктов, удовлетворяющих стандартизированным требованиям качества;

обеспечение требуемой надежности системы с помощью различных видов резервирования, включения в систему средств контроля состояния технических и программных средств, управления восстановлением и реконфигурацией компонентов системы;

включение в систему средств метрологической калибровки, используемых при внедрении и в процессе эксплуатации.

1.4 Направление развития СВРК-М

Дальнейшее усовершенствование СВРК-М осуществляется за счет:

- развития МПО СВРК-М в направлении реализации новых расчетных задач;
- диверсификации платформ (операционных систем) для дублированных вычислительных комплексов (уменьшение вероятности отказа по общей причине), предназначенных для оперативных расчетов;
- расширения интеграции СВРК-М и ИВС энергоблоков для конкретных АЭС.

Развитие функций СВРК-М в части расчетных и прогнозных модулей, организация современной системы поддержки оператора. В дополнение к существующей в МПО «Крузиз» подсистеме информационной поддержки оператора в рамках нейтронно-физического модуля начата

разработка расширенного модуля информационной поддержки оператора («советчика») на основе интегрированного описания процессов, как в активной зоне, так и в РУ в целом. Модуль построен на основе модельного описания отдельных узлов энергоблока (РУ + второй контур + турбогенератор + общестанционные системы) с учетом воздействия на них регуляторов и взаимодействия узлов между собой по параметрам рабочих сред (вода/пар и/или теплоперенос/теплопередача) с учетом обратных связей. Развитие данного модуля разделено на ряд стадий:

- контроль средств воздействия на реактивность (СУЗ и системы борного регулирования) с выявлением несоответствий соблюдения алгоритма управления полем энерговыделения, выдачей оператору рекомендаций по приведению РУ в стабильное или планируемое состояние (что особенно важно в переходных и маневренных режимах);
- контроль всех подсистем энергоблока и взаимосогласованности их параметров в режимах нормальных условий эксплуатации с выдачей оператору рекомендаций по приведению РУ в стабильное или планируемое состояние;
- контроль за состоянием РУ и ее подсистем в режимах нарушений нормальных условий эксплуатации с выдачей оператору рекомендаций по приведению РУ в пределы нормальных условий эксплуатации;
- полная комплексная диагностика РУ и ее подсистем с целью выявления несоответствий и прогнозирования состояний РУ и ее подсистем во всех режимах эксплуатации, в том числе здесь предусматривается прогнозирование показателей надежности и ресурса оборудования РУ.

На каждой стадии производится настройка подсистемы на конкретный энергоблок для максимально более точного описания процессов и регулирующих воздействий, протекающих на данном энергоблоке. На каждом этапе разработчиком ИВС производится настройка пакетов обмена необходимой информацией между ИВС и СВРК-М.

Данная подсистема может также быть использована оператором для диагностирования текущего состояния РУ и прогнозирования поведения ее подсистем в результате таких регулирующих воздействий оператора, как: изменение уровня в парогенераторе и условий подпитки/продувки, протекание переходных процессов и др. Внедрение такой подсистемы в СВРК-М и поэтапное наращивание ее возможностей сравнительно легко осуществимо, поскольку СВРК-М организована в виде ЛВС и новые функции могут быть реализованы на отдельном кластере такой ЛВС без увеличения нагрузки на основное оборудование СВРК-М и снижения его надежности.

Основные функции системы поддержки оператора:

- представление текущего состояния контролируемых объектов (подсистем и энергоблока в целом);
- предупреждение о приближении к режимным уставкам по параметрам РУ и подсистем;
- подготовка и выдача оператору рекомендаций по приведению РУ в желаемое (стабильное) состояние;
- регистрация параметров РУ и подсистем при нормальных условиях эксплуатации, в условиях нарушения нормальных условий эксплуатации и при проектных авариях;
- расчет (прогноз) состояния активной зоны, РУ и подсистем при заданных управляющих воздействиях;
- оперативное сопоставление реального и прогнозного поведения параметров энергоблока в режимах нормальной эксплуатации, режимах с нарушениями условий нормальной эксплуатации и аварийных режимах;
- оперативная оценка параметров регуляторов, защит и блокировок в условиях изменения состояния и характеристик систем и оборудования (в том числе модернизация, замена);
- отработка алгоритмов оперативной параметрической диагностики состояния систем и оборудования системы информационной поддержки оператора.

В рамках данной системы дополнительно планируется объединить показания систем диагностики подсистем реакторной установки и РУ в целом (вибродиагностику, внутриреакторную шумовую диагностику, контроль течей, контроль «летающих предметов» и др.) и предоставлять оператору РУ комплексный срез по состоянию РУ и ее подсистем, что позволит повысить достоверность и надежность контроля за активной зоной и РУ в целом.

Уменьшение вероятности отказа дублированных вычислительных комплексов. Мультиплатформенная версия МПО «Крузиз» обеспечивает возможность функционирования расчетных задач на рабочих станциях и серверах под разными операционными средами, в том числе и под ОС Linux, которая используется в программном обеспечении ИВС и части рабочих станций СВРК-М. Это позволяет реализовывать расчетные задачи СВРК-М (на СОК 1,2 и СВУ 1,2) под ОС Linux, а также за счет применения принципа разнообразия (реализации расчетных задач на дублированных вычислительных комплексах под разными операционными системами) исключить возможные отказы дублированных вычислительных комплексов по общей причине (из-за возможных ошибок в операционной системе). Конкретная конфигурация программного обеспечения для каждого энергоблока согласовывается с заказчиком.

Интеграция СВРК-М и ИВС энергоблока.

Уже в базовом варианте СВРК-М РАЭС-4 обеспечена унификация решений по программно-

техническим средствам и применению в СВРК-М программного обеспечения, разработанного для ИВС энергоблока в части обеспечения функционирования МСКУ, представления информации оперативному персоналу, реализации архивов и сервисных функций.

Дальнейшая интеграция СВРК-М и ИВС блока может быть связана, в том числе с:

- унификацией обмена информацией между системами вплоть до объединения ЛВС ИВС и СВРК;
- интеграцией в части представления информации;
- реализацией расчетных задач в СВРК-М под унифицированной с ИВС операционной системой.

2 СОСТАВ РАБОТ ПО АДАПТАЦИИ, ВНЕДРЕНИЮ И СОПРОВОЖДЕНИЮ МПО «КРУИЗ»

В соответствии с рекомендациями МЭК, ПО систем, важных для безопасности, должно сопровождаться разработчиком на всех этапах жизненного цикла до момента его вывода из эксплуатации. С учетом этого при внедрении СВРК-М на базе МПО «Крузиз» проводятся следующие работы:

- адаптация МПО «Крузиз» к конкретному энергоблоку, проверки и автономные испытания в составе СВРК-М;
- комплексные испытания и опытная эксплуатация до приемки в промышленную эксплуатацию;
- сопровождение МПО в процессе эксплуатации, включая:
 - консультации при перегрузке топлива;
 - обучение специалистов АЭС;
 - периодический анализ функционирования ПО в процессе эксплуатации;
 - устранение замечаний, выявленных в процессе эксплуатации ПО;
 - модернизация ПО по желанию Заказчика;
 - поддержание единой версии ПО на всех энергоблоках Заказчика;
 - регулярное информирование пользователей о работах по развитию ПО СВРК-М.

3 ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВРК-М

Основные характеристики СВРК-М приведены в табл. 1. Показатели надежности функций СВРК-М приведены в табл. 2. Значения показателей надежности приведены для рабочих условий эксплуатации.

По назначению и характеру выполняемых функций СВРК-М является компонентом информационных систем, по влиянию на безопасность относится к классу безопасности 3 в соответствии с [11]. Классификационное обозначение СВРК-М – 3Н согласно [12]. СВРК-М относится к Пб категории сейсмостойкости согласно

Таблица 1 Основные характеристики СВРК-М

| №№ | Параметр | Величина |
|----|---|--|
| 1 | Типовое количество входных сигналов | 2000 шт. |
| 2 | Погрешность определения линейной мощности кассет в местах расположения ДПЗ с доверительной вероятностью 0,95 | не более $\pm 5\%$ |
| 3 | Пределы основной приведенной погрешности измерений сигналов датчиков СВРК-М: – сигналов ДПЗ ($0 \pm 5 \mu\text{A}$) – сигналов фоновых детекторов ДПЗ ($\pm 0,5 \mu\text{A}$) – сигналов термоэлектрических преобразователей – сигналов термопреобразователей сопротивления – сигналов среднего уровня | не более $\pm 0,05\%$ не более $\pm 0,2\%$ не более $\pm 0,04\%$ не более $\pm 0,04\%$ не более $\pm 0,05\%$ |
| 4 | Коэффициент подавления помех: – общего вида – нормального вида | не менее 120dB не менее 60dB |
| 5 | Средняя наработка на отказ по каналам измерения | не менее 100000h |
| 6 | Электромагнитная совместимость и помехозащищенность | степень жесткости 2 |
| 7 | Климатические условия эксплуатации: рабочие: – микропроцессорные комплексы МСКУ – промышленные рабочие станции ПС5120 – предельные: – микропроцессорные комплексы МСКУ – промышленные рабочие станции ПС5120 | от $+5^\circ\text{C}$ до $+50^\circ\text{C}$ от $+15^\circ\text{C}$ до $+35^\circ\text{C}$ от $+5^\circ\text{C}$ до $+50^\circ\text{C}$ от $+15^\circ\text{C}$ до $+50^\circ\text{C}$ |

Таблица 2 Показатели надежности функций СВРК-М

| Функции | Средняя наработка на отказ, ч, не менее | Коэффициент готовности | Среднее время восстановления, ч, не более |
|--|---|------------------------|---|
| Отображение данных на экранах РМРО | 2×10^4 | - | 1 |
| Архивирование информации | 10^4 | - | 1 |
| Выполнение оперативных расчетов теплогидравлики и нейтронной физики | 10^4 | - | 2 |
| Сигнализация | - | 0.99998 | 2 |
| Расчет и формирование сигналов ПЗ и выдача в СУЗ: - для отказов типа «несрабатывание» - для отказов типа «ложное срабатывание» | - 4×10^4 | 0.99998 | 1 1 |

По назначению и характеру выполняемых функций СВРК-М является компонентом информационных систем, по влиянию на безопасность относится к классу безопасности 3 в соответствии с [11]. Классификационное обозначение СВРК-М – 3Н согласно [12]. СВРК-М относится к Пб категории сейсмостойкости согласно [13], за исключением каналов нейтронных измерительных (КНИ), относящихся к I категории сейсмостойкости.

Средний срок службы СВРК-М - не менее 30 лет при условии, что изделия, для которых в технических условиях или ином документе на поставку установлен меньший срок службы, будут своевременно заменяться, или срок эксплуатации таких изделий будет продлен в установленном порядке.

Пределы допускаемой приведенной погрешности измерительных каналов СВРК-М приведены в табл. 3 и соответствуют проектным требованиям.

Пределы допускаемой приведенной погрешности сравнения с уставками, а также пределы допускаемой приведенной дополнительной

погрешности вычислений в рабочих условиях эксплуатации не превышают $\pm 0,05\%$.

Погрешность расчета тепловой мощности активной зоны - не более чем $\pm 2\%$ от номинальной тепловой мощности с доверительной вероятностью 0,95 (с учетом первичных преобразователей).

Погрешность определения коэффициентов неравномерности энерговыделения (K_v , K_q) при номинальной мощности реактора не превышает $\pm 5\%$ при доверительной вероятности 0,95. Выполнение указанных требований подтверждается верификационными материалами, прошедшими экспертизу Госатомрегулирования Украины, и результатами сравнения объемного поля энерговыделения с показаниями контрольных ТП и ДПЗ в процессе испытаний СВРК-М при выходе энергоблока на номинальную мощность и при работе на номинальной мощности. Контрольными здесь названы датчики, временно исключенные из процедуры расчета распределения мощности в объеме активной зоны с целью использования показаний этих датчиков для контроля результатов расчета.

Таблица 3 Пределы допускаемой приведенной погрешности измерительных каналов СВРК-М

| Входной сигнал | Пределы допускаемой приведенной погрешности, % | Примечание |
|---|--|------------------------------|
| Ток детекторов прямой зарядки (0-5 мкА, от -0,5 до 0,5 мкА) | ± 0,5 | |
| Термоэлектрических преобразователей | ± 0,25 | С индивидуальной калибровкой |
| Термопреобразователей сопротивления | ± 0,1 | То же |
| Нормированные сигналы (0-5 мА, 4-20 мА) | ± 0,25 | |

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поскольку к настоящему времени накоплен значительный эксплуатационный опыт и разработаны современные комплексные расчетные коды, комплексная модернизация СВРК должна производиться одновременно с пересмотром проекта РУ ВВЭР-1000 на основе современных подходов к обоснованию безопасности ее эксплуатации. Характерными примерами такого пересмотра являются:

- проект РУ ВВЭР-440 для АЭС «Ловииза» (Финляндия), что позволило поднять электрическую мощность реакторной установки с 440 до 500 МВт,
- для ВВЭР-1000 – снижение консерватизма, заложенного в $K_{инж}$ в связи с отработкой производства топлива и улучшением проектных нейтронно-физических кодов.

В настоящее время в России при финансировании концерном «Росэнергоатом» с целью повышения коэффициента использования установленной мощности ведутся работы по обоснованию повышения установленной мощности энергоблоков ВВЭР-1000.

Фактически, пересмотр проекта РУ ВВЭР-1000 может дать возможность увеличить отпускаемую электрическую мощность РУ на 4-10%, расширить спектр компоновочных решений для активных зон при обеспечении непосредственного контроля критических параметров при эксплуатации. Кроме того, в связи с растущей долей энерговыработки на АЭС Украины в общей энерговыработке страны, становится актуальным вопрос о переводе части ядерных генерирующих мощностей в режим маневрирования мощностью. Для обеспечения эксплуатации топлива и реакторной установки в режимах маневрирования мощностью также важен контроль при эксплуатации за ранее не контролировавшимися ВМПО «Хортица» величинами локального энерговыделения, а также за режимами эксплуатации критических узлов РУ.

Модернизация СВРК ВВЭР-1000 на основе апробированной системы СВРК-М с МПО «Круз» обеспечивает безопасную и экономичную эксплуатацию активных зон энергоблоков ВВЭР-1000 с учетом современных требований, а также имеет возможности для обеспечения повышения эффективности внедрения новых топливных циклов, эксплуатации энергоблоков в маневренных режимах,

повышения тепловой мощности активных зон. Такая модернизация становится возможной за счет:

1) реализации новых по отношению к ВМПО «Хортица» функций, в том числе:

- контроля параметров, включенных в проектные пределы;
- формирования сигналов на ограничение мощности реактора при превышении допустимых локальных параметров в активной зоне (ПЗ-2);
- оперативного контроля отклонений между восстановленным и расчетным распределениями энерговыделения;
- поддержки усовершенствованного алгоритма управления распределением поля энерговыделения в активной зоне;
- прогноза распределения энерговыделения при заданных управляющих воздействиях;
- возможности автоматизации сверки результатов измерений и проектных расчетов;

2) повышения качества внутрореакторного контроля, в том числе:

- повышения точности, стабильности и разрешающей способности контроля;
- увеличения частоты опроса внутрореакторных датчиков;
- привязки результатов измерений к точному мировому времени;
- автоматического контроля состояния измерительных каналов;

3) оперативной и долговременной архивизации измеренных и расчетных параметров с возможностью автономного запуска расчетов с любого времени по архивным данным;

4) современного пользовательского интерфейса, обеспечивающего удобное представление информации для различных категорий пользователей.

СВРК-М с МПО «Круз» допускает возможность расширения функциональности, в том числе обеспечения поэтапного внедрения подсистем комплексной диагностики состояния активной зоны, включая применение методов шумовой диагностики активной зоны.

Литература

1. М.А. Ястребенецкий, В.М. Васильченко и др. Безопасность атомных станций. Информационные и управляющие системы. Под ред. М.А. Ястребенецкого.- К.:Техніка. 2004. - 472 с.

2. Система внутриреакторного контроля ВВЭР-1000 СВРК-М. Концепция модернизации и сопровождения эксплуатации СВРК-М АЭС Украины. ГП НАЭК «Энергоатом», 2005 г.
3. В. А. Брагин и др. Системы внутриреакторного контроля АЭС с реакторами ВВЭР. Москва. Энергоатомиздат. 1987.
4. A.S.Kuzil, S.P.Padun, V.I.Bourian. Development of in-core monitoring system for VVER. 10-th AER Symposium on VVER Reactor Physics and Reactor Safety. September 18-22, 2000, Moscow, Russia.
5. Козлова Л.В., Кужиль А.С., Падун С.П., Сурначев С.И., Шикалов В.Ф. Методы комплексной проверки измерительных каналов СВРК. Международный симпозиум «Измерения важные для безопасности в реакторах». Генерация и отвод тепла в активной зоне ядерного реактора. 10-12 сентября 2002, Москва, Россия.
6. А.С. Кужиль. Практика поэтапного внедрения систем внутриреакторного контроля на 5-м блоке НВАЭС, на 1-м и 2-м блоках АЭС «Моховце» и 3-м блоке НВАЭС. Ядерные и измерительно-информационные технологии. 2002, №4. Стр. 62-67.
7. В.И. Бурьян. Результаты испытаний алгоритма восстановления поля энерговыделения ПО СВРК «Круз» на 1-м блоке Ростовской АЭС. Ядерные и измерительно-информационные технологии. 2002, №4. Стр. 56-61.
8. Отчет РАЭС №344-О-ОЯБ. Анализ результатов испытаний усовершенствованного алгоритма восстановления поля энерговыделения ВВЭР-1000 реализованного в ПО «Круз». 2005.
9. А.Х. Горелик, В.В. Елисеев, В.А. Орловский. Опыт разработки новых и поэтапной реконструкции действующих информационно-вычислительных систем энергоблоков с реактором ВВЭР-1000 // Ядерная и радиационная безопасность. 2005, №1. С. 91-96.
10. В.В. Елисеев, В.А. Ларгин, Г.Ю. Пивоваров. Программно-технические комплексы АСУ ТП. К: Издательско-полиграфический центр «Киевский университет», 2003. - 429 с.
11. НП 306.5.02/3.035-2000. Норми и правила з ядерної та радіаційної безпеки. Вимоги з ядерної та радіаційної безпеки до інформаційних і керуючих систем, важливих для безпеки атомних станцій.
12. НП 306.1.02/1.034-2000. Загальні положення забезпечення безпеки атомних станцій.
13. ПНАЭ Г-5-006-87. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций.

О.Х. Горелик, В.В. Єлісеєв, О.С. Кужіль, В.А. Орловський, С.П.Падун, В.Ф. Якубов

КОНЦЕПЦІЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМ ВНУТРІШНЬОРЕАКТОРНОГО КОНТРОЛЮ ВВЕР-1000 АЕС УКРАЇНИ

Розглянуті основні положення концепції модернізації СВРК АЕС України на базі програмно-технічних засобів виробництва ЗАТ «СНВО „Імпульс”» та математичного і програмного забезпечення (МПЗ) „Круз”. Наведені функції та характеристики модернізованої СВРК.

A.Gorelik, V.Yelisseyev, A.Kuzhil, V.Orlovsky, S.Padun, V.Yakubov

MODERNIZATION CONCEPTION OF WWER-1000 INCORE CONTROL SYSTEM OF UKRAINIAN NPPs

The paper considers main thesis of modernization conception of WWER-1000 incore control system of Ukrainian NPPs on the basis of program-technical means of PJSC ‘SRPA ‘Impulse’ and mathematical and software support ‘Cruise’. The work contains functions and characteristics of modernized incore control system.