



АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ АСРК-2000 для АЭС

А.Е. Шермаков, Г.Е. Каминский, Н.Ю. Шаврин (ЗАО "СНИИП-СИСТЕМАТОМ"),
С.В. Жаринов, П.В. Никитин, (ФГУП "Приборостроительный завод")

В статье приведены: история создания отечественных автоматизированных систем радиационного контроля АЭС; структура, состав и основные технические характеристики системы последнего поколения АСРК-2000 и ее основные преимущества по сравнению с системами предыдущих поколений.

История создания систем радиационного контроля в России

Первая многоканальная аппаратура радиационного контроля для АЭС была разработана в конце 60-х гг. Ею оснащены все энергоблоки АЭС в России, введенные в эксплуатацию до 1980 г. В конце 70-х гг. были разработаны централизованные информационно-измерительные системы радиационного контроля (ЦИИСРК) для АЭС с реакторами ВВЭР (система АКРБ-03) и РБМК (система АКРБ-06). Они установлены более чем на 20 российских и зарубежных энергоблоках АЭС, введенных в эксплуатацию в период после 1980 г.

В 1986 г. была закончена разработка системы АКРБ-08, которая должна была заменить системы АКРБ-03 и АКРБ-06. АКРБ-08 имела распределенную структуру, в которой основным элементом являлась станция сбора данных (ССД), содержащая многофункциональное микропроцессорное устройство накопления и обработки информации (УНО). К УНО могли подключаться до 10 блоков и устройств детектирования (БД и УД) различного типа и светозвуковые сигнализаторы (до 10 ед.). УНО выполняет следующие функции:

- обработку информации от всех типов БД и УД по стандартным алгоритмам;
- отображение информации на встроенном дисплее по каждому из десяти измерительных каналов (ИК);
- настройку ИК;
- сравнение значений измеренных радиационных параметров с предупредительной и аварийной уставками, выдачу светозвуковой сигнализации на переднюю панель УНО и по месту контроля при превышении уставок;
- диагностику отказов ИК; управление работой БД, УД, исполнительных механизмов (электромагнитными клапанами и воздухоудовками в линиях пробоотбора);
- обмен информацией между УНО в системе ЦИИСРК, а также с верхним уровнем.

ССД могли функционировать самостоятельно (как 10-канальные радиометрические установки) или в составе многоканальной системы радиационного контроля.

Система АКРБ-08 должна была устанавливаться на энергоблоках АЭС, введенных в эксплуатацию после 1986 г. Однако после Чернобыльской аварии строительство АЭС было свернуто, и новая система так и не была внедрена в полном объеме. Лишь отдельные фрагменты АКРБ-08 были установлены и эксплуатируются на Курской, Нововоронежской, Ленинградской и Кольской АЭС.

АСРК нового поколения

В конце 90-х гг. в России и за рубежом вновь стало актуально строительство новых АЭС и модернизация технологического и контрольно-измерительного оборудования на эксплуатируемых АЭС. В связи с этим в 2000 г. специалистами ЗАО "СНИИП-СИСТЕМАТОМ" (Москва) и ФГУП "Приборостроительный завод" (ПСЗ) (г. Трехгорный) была закончена разработка современной системы АСРК-2000. Ее создание осуществлялось с учетом опыта разработки и эксплуатации подобных систем, накопленным специалистами ЗАО "СНИИП-СИСТЕМАТОМ" за период 1970-2000 гг.

При разработке АСРК-2000 были использованы зарекомендовавшие себя и проверенные практикой технические и конструктивные решения. Впервые система АСРК изначально создавалась как подсистема АСУТП АЭС. В состав поставки АСРК включены комплекты: оборудования; системной эксплуатационной документации, включая методики поверки и калибровки БД, УД и ИК в лабораторных условиях и на месте эксплуатации; запасных частей, инструмента и принадлежностей; комплект расходных материалов и поверочного оборудования для всех типов ИК, а также элементы пробоотборного оборудования (фильтродержатели ФД-2Е и каплеотбойники).

Структурно АСРК-2000 делится на подсистему нормальной эксплуатации (АСРК НЭ) и подсистемы, осуществляющие радиационный контроль в системах безопасности АЭС (подсистемы АСРК СБ). Число подсистем АСРК СБ соответствует числу систем безопасности. Как правило, АСРК НЭ осуществляет контроль радиационных параметров с помощью индивидуальных ИК, а АСРК СБ (ввиду того, что к ней

предъявляются повышенные требования к надежности функционирования) дублированными ИК.

АСРК-2000 в нормальных и аварийных условиях эксплуатации решает следующие задачи радиационного контроля: радиационной обстановки в помещениях АЭС; состояния защитных барьеров; состояния (герметичности) основного технологического оборудования; эффективности работы очистных установок.

Так же, как и в АКРБ-08 основным структурным элементом АСРК-2000 является ССД, содержащая БД, УД, блоки питания, светозвуковые сигнализаторы и УНО. Технические средства (ТС) АСРК имеют встроенные узлы автоматизированного контроля исправности, а также обеспечены оборудованием для проведения послеремонтного тестирования и настройки ТС на объекте эксплуатации. Данные, получаемые от ИК, отображаются на дисплеях УНО и пульте радиационного контроля (РК).

Прикладное ПО пульта РК обеспечивает: отображение информации в виде: диагностических видеокладов состояний (контролируемых радиационных параметров, ИК и ТС АСРК; радиационной обстановки, защитных барьеров и технологических систем энергоблока); видеокладов с представлением данных по группам радиационных параметров в виде таблиц, графиков и мнемосхем; видеокладов управления и сервисных видеокладов; архивирование; вывод информации на печать; управление работой БД, УД и исполнительными механизмами; связь с системами верхнего уровня; выполнение расчетных задач.

Обмен информацией УНО между собой и пультом РК осуществляется по интерфейсу RS-485, а между АСРК и информационной сетью энергоблока АЭС — по интерфейсу RS-485 или Ethernet.

Состав АСРК-2000

ИК АСРК -2000 комплектуется следующими типами БД и УД (в скобках приведен диапазон измерения):

- блоки и устройства детектирования мощности поглощенной дозы (МПД) гамма-излучения четырех типов-БДМГ-08Р-03 ($1 \cdot 10^{-7} \dots 5 \cdot 10^{-4}$ Гр/ч), БДМГ-08Р-04 ($5 \cdot 10^{-6} \dots 3 \cdot 10^{-2}$ Гр/ч), БДМГ-08Р-05 ($1 \cdot 10^{-3} \dots 1 \cdot 10^1$ Гр/ч) и УДМС-20Р ($5 \cdot 10^{-3} \dots 1 \cdot 10^5$ Гр/ч);
- блок детектирования объемной активности (ОА) бета-аэрозолей БДАС-03П-01 ($4 \dots 1 \cdot 10^5$ Бк/м³);
- устройство детектирования ОА инертных радиоактивных газов (ИРГ) УДГБ-02Р ($2,5 \cdot 10^4 \dots 8 \cdot 10^6$ Бк/м³) и УДГБ-02Р1 ($5 \cdot 10^7 \dots 1 \cdot 10^{13}$ Бк/м³);
- устройство детектирования ОА радионуклидов иода УДАС-02П ($20 \dots 7,8 \cdot 10^5$ Бк/м³);
- устройство детектирования ОА радионуклидов в жидкости (погружного типа) УДЖГ-22Р1, УДЖГ-22Р2 ($2,5 \cdot 10^3 \dots 2,5 \cdot 10^6$ Бк/м³);
- устройство детектирования ОА радионуклидов и ОА натрия-24 в жидкости (проточного типа) УДЖГ-20Р ($1 \cdot 10^4 \dots 3 \cdot 10^8$ Бк/м³);
- устройство детектирования ОА радионуклидов и ОА азота-16 в паре основных паропроводов парогенераторов УДПГ-04Р ($1 \cdot 10^4 \dots 5 \cdot 10^8$ Бк/м³);

- устройство детектирования плотности потока запаздывающих нейтронов УДИН-06Р ($1 \cdot 10^4 \dots 1 \cdot 10^7$ н/с.м²).

С помощью перечисленных БД и УД решаются типовые задачи радиационного контроля АЭС.

Для решения отдельных задач контроля активности технологических сред в контурах и системах АЭС в АСРК -2000 применены устройство УДПГ-04Р и модификации блоков БДМГ-08Р вместе с разработанными для них свинцовыми коллиматорами. Такое решение позволило осуществить контроль радиационных параметров самых разнообразных объектов с помощью ограниченного набора БД и УД.

Низковольтное питание БД и УД обеспечивают блоки коммутации БКК-77Е нескольких модификаций.

Обработка данных, поступающих с выходов БД и УД, и их отображение осуществляются по стандартным алгоритмам в микропроцессорных устройствах обработки данных типа УНО-201Е.

К одному УНО можно подключить до 10 ИК в любой комбинации. Имеются также модификации УНО-201Е с возможностью подключения до 20 ИК с блоками типа БДМГ-08Р и УДЖГ-22Р. Сигнализация о превышении контролируемыми радиационными параметрами пороговых уровней (предупредительного и аварийного порогов) осуществляется на встроенных сигнализаторах УНО и на светозвуковых сигнализаторах типа БСС-01Е по месту контроля. До 5...7 УНО объединяются в локальную информационную сеть каналом передачи данных RS-485. Сбор данных и их подготовка для передачи в информационную сеть энергоблока АЭС и на пульт РК осуществляется с помощью устройств сопряжения и обмена информацией типа УВЦ-65Р (УВЦ). УВЦ имеет 7 входов/выходов, к которым могут быть подключены до семи локальных информационных сетей с УНО. Структурная схема АСРК-2000 приведена на рис. 1.

Задачи радиационного контроля, решаемые АСРК-2000

С помощью ИК АСРК-2000 осуществляется радиационный технологический контроль и контроль радиационной обстановки в помещениях энергоблока АЭС в нормальных и аварийных условиях эксплуатации.

Контроль состояния оболочек тепловыделяющих элементов (состояния активной зоны реактора) осуществляется по:

- ОА теплоносителя первого контура в диапазоне $3,7 \cdot 10^7 \dots 3,7 \cdot 10^{12}$ Бк/м³ (ИК с БДМГ-08Р-03, БДМГ-08Р-04) в нормальных и аномальных условиях;
- плотности потока запаздывающих нейтронов (ИК с УДИН-06Р);
- МПД гамма-излучения от трубопроводов САОЗ (ИК с блоками типа БДМГ-08Р) в аномальных и аварийных условиях.

Контроль состояния границы первого контура в условиях максимальной проектной аварии и за проектной аварии осуществляется по МПД гамма-излучения в центральном зале (ИК с УДМС-20Р).

Контроль течей теплоносителя первого контура во второй и промежуточный контуры (контроль состояния границы первого контура) осуществляется по:

- ОА радионуклидов в технологических трубопроводах продувки и общем коллекторе продувки парогенераторов (ИК с УДЖГ-20Р);
- ОА радионуклидов в воде промежуточного контура после теплообменников и в общем коллекторе промежуточного контура (ИК с УДЖГ-20Р);
- ОА радионуклидов и ОА азота-16 в паре основных паропроводов парогенераторов (ИК с УДПГ-04Р);
- ОА ИРГ в парогазовой смеси системы воздухоудаления из конденсатора турбины (ИК с УДГБ-02Р);
- МПД гамма-излучения от трубопроводов после клапанов БРУ-А (ИК с БДМГ-08Р-04) в аварийных условиях;
- МПД гамма-излучения от трубопроводов на выхлопе системы воздухоудаления из конденсатора турбины (ИК с БДМГ-08Р-04) в аварийных условиях;

- ОА жидкости в контрольных баках, сбросных трубопроводах и каналах (ИК с УДЖГ-22Р1 и УДЖГ-22Р2).

Контроль течей теплоносителя первого контура в помещениях энергоблока АЭС осуществляется в помещениях АЭС и в вентиляционных коробах вентиляционных систем до фильтровальных установок по: ОА ИРГ (ИК с УДГБ-02Р); ОА аэрозолей (ИК с БДАС-03П-01); ОА йода-131 (ИК с УДАС-02П).

Контроль герметичности защитной герметичной оболочки реактора осуществляется по непрерывному контролю ОА ИРГ в межоболочечном пространстве (ИК с УДГБ-02Р), дополненному периодическим контролем активности аэрозолей и радиоизотопов йода, отбираемых на аэрозольные и йодные фильтры с рабочей поверхностью 20 см², установленные в фильтродержателе ФД-2Е. Накопленная на фильтрах активность измеряется с помощью радиометра РКС-18Р, входящего в комплект поставки АСРК-2000.

Контроль эффективности очистки и функционирования систем спецводоочистки осуществляется по:

- непрерывному контролю ОА радионуклидов в жидкости (ИК с УДЖГ-20Р);
- периодическому контролю активности проб жидкости, отбираемых в системах спецводоочистки;
- МПД гамма-излучения от поверхности баков сбора отработанных смол (ИК с блоками типа БДМГ-08Р).

Контроль эффективности очистки и функционирования системы спецгазоочистки осуществляется по непрерывному контролю ОА ИРГ в технологических контурах с помощью ИК с блоками БДМГ-08Р-03, БДМГ-08Р-04 и УДПГ-04Р, размещаемых у технологических контуров спецгазоочистки, и с помощью ИК с УДГБ-02Р.

Контроль изменения активности воздуха в приточных системах вентиляции БЩУ и РЩУ осуществляется по МПД гамма-излучения (ИК с БДМГ-08Р-03).

Контроль радиационной обстановки в помещениях энергоблока осуществляется по:

- МПД гамма-излучения (ИК с БДМГ-08Р-03, БДМГ-08Р-04 и БДМГ-08Р-05) в нормальных и отличных от нормальных условиях;
- МПД гамма-излучения (ИК с УДМС-20Р) в отличных от нормальных условиях и при проектных и запроектных авариях в центральном зале реакторного отделения;
- ОА ИРГ (ИК с УДГБ-02Р), ОА аэрозолей (ИК с БДАС-03П-01), ОА йода-131 (ИК с УДАС-02П).

Непрерывный контроль радиационных параметров дополняется периодическим контролем, который осуществляется посредством отбора проб среды на аэрозольные и йодные фильтры, установленные в фильтродержателе ФД-2Е, и последующего измерения бета-активности отобранных на фильтры проб аэрозолей и йода с помощью радиометров РКС-18Р в диапазоне 1...1·10⁵ Бк.

С помощью периодического контроля решаются следующие задачи:

- контроля эффективности фильтровальных установок вентиляционных систем путем сравнения активности проб аэрозолей или йода на фильтрах, отобранных до и после фильтровальных установок;
- контроля радиационной обстановки в технологических помещениях энергоблока и состояния технологического оборудования по активности проб аэрозолей и йода на фильтрах.

Основные преимущества АСРК-2000

По сравнению с системами АКРБ предыдущих поколений АСРК-2000 обладает целым рядом существенных преимуществ, делающих ее более гибкой, отвечающей всем требованиям, предъявляемым к современному АСРК:

- существенно повышена наработка на отказ ТС (с 8000 до 20000 ч);
- снижено (примерно в 2 раза) энергопотребление УНО;
- расширены до 5 раз диапазоны измерения ИК с блоками типа БДМГ-08Р;
- расширена номенклатура ТС и вспомогательного оборудования (разработаны: устройство детектирования УДМС-20Р МПД гамма-излучения в герметичной защитной оболочке реактора в условиях проектной и запроектной аварий; устройство УВЦ-65Р, осуществляющее сбор данных от УНО, их подготовку и передачу в пульт РК и информационную сеть энергоблока; световые сигнализаторы на основе светодиодов с функцией самодиагностики; радиометр РКС-



Рис. 2

18Р для измерения активности фильтров типа АФА; фильтродержатель ФД-2Е; радиационные защиты для блоков типа БДМГ-08Р; поверочное оборудование ИК по месту эксплуатации);

- существенно улучшены конструктивные и электрические характеристики устройств БДАС-03П-01 и УДАС-02П;

- разработаны новые алгоритмы для УНО, улучшающие эксплуатационные характеристики устройств УДГБ-02Р (УДГБ-02Р1), БДАС-03П-01 и УДАС-02П, а также обеспечивающие автоматическое переключение с чувствительного БДМГ-08Р на грубый и обратно при их совместной работе на один ИК (ИК с расширенным диапазоном измерения);

- для задачи контроля герметичности парогенераторов разработаны алгоритм и ПО пульта РК, осуществляющее расчет величины протечки теплоносителя первого контура в парогенератор по показаниям устройств, контролирующих активность азота-16 в паре основных паропроводов;

- все ТС выполнены в сейсмостойком и пожаробезопасном исполнении, устойчивы к жестким климатическим, механическим и электромагнитным воздействиям (группа 4 по ГОСТ Р 50 746).

В настоящее время АСРК-2000 прошла испытания и поставлена на блок 1 АЭС "Бушер". Принятые в АСРК-2000 технические и структурные решения позволяют без существенных затрат адаптировать ее к различным проектам вновь вводимых энергоблоков АЭС; изменять и расширять функциональные возможности; про-

водить реконструкцию эксплуатирующихся в настоящее время систем АКРБ с максимальным сохранением старых кабельных трасс и пробоотборных линий.

В настоящее время такая модернизация с использованием ТС и решений АСРК-2000 проводится на 5 и 6 блоках АЭС "Козлодуй". Испытательный фрагмент АСРК-2000 показан на рис. 2.

АСРК-2000 не является раз и навсегда застывшей системой. Номенклатура ТС, входящих в ее состав, постоянно дополняется и совершенствуется. Необходимость разработки новых или усовершенствования имеющихся ТС определяется исходя из опыта эксплуатации АСРК, требований заказчика или нормативной документации.

В настоящее время планируется провести разработку: силовых электрических блоков для управления исполнительными механизмами АСРК (автоматические вентили и воздуходувки пробоотборных линий); УД низкоактивных сред; БД МПД с расширенным диапазоном измерения; блоков преобразования аналоговых сигналов (4...20) мА в физическую величину с выходом на канал передачи данных RS-485.

В заключение авторы выражают благодарность всем специалистам: ЗАО "СНИИП-СИСТЕМАТОМ", ФГУП "Приборостроительный Завод", ФГУП "Атомэнергопроект", ЗАО "Атомстройэкспорт", ОАО "Атомэнергоэкспорт", ЭНИЦ "ИНВЕСТ", ИПУ РАН, принимавших участие и оказавшим содействие в разработке, изготовлении и поставке АСРК-2000 на АЭС "Бушер" и на энергоблоки 5 и 6 АЭС "Козлодуй".

Шермаков Александр Евгеньевич — канд. техн. наук, начальник лаборатории,

Каминский Георгий Евгеньевич — главный специалист,

Шаврин Николай Юрьевич — ведущий инженер ЗАО "СНИИП-СИСТЕМАТОМ",

Жаринов Сергей Владимирович — инженер,

Никитин Павел Владимирович — начальник отдела, ФГУП "Приборостроительный Завод".

Контактные телефоны: (095) 196-77-11, 196-92-50, факс 196-72-51.

E-mail: System.Atom@ru.net