

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ «СКАЛА-МИКРО»

Информационно-измерительная система "Скала-микро" предназначена для контроля технологического процесса и состояния оборудования энергоблоков АЭС с реакторами РБМК-1000 и осуществляет сбор информации, формируемой аналоговыми и дискретными датчиками систем контроля и управления энергоблока, расчетно-логическую обработку, регистрацию и отображение на блочном щите управления с целью обеспечения эффективного и безопасного ведения технологического процесса оперативным персоналом.

Система "Скала-микро" разработана в рамках модернизации действующей системы "Скала" с целью замены выработавшего ресурс оборудования системы "Скала" и обеспечивает реализацию функций системы "Скала" в полном объеме на новом качественном уровне.

Опыт эксплуатации системы «Скала», стадии разработки и внедрения системы «Скала-микро», основные структурные и технические решения, использованные при разработке, а также описание архитектуры системы и результатов внедрения представлены в [1].

В настоящий момент накоплен достаточно большой опыт внедрения и эксплуатации системы "Скала-микро" на двух энергоблоках Курской АЭС и одном блоке Ленинградской АЭС. Заканчивается монтаж оборудования системы «Скала-микро» на втором блоке ЛАЭС и реализуются мероприятия по проведению комплексных испытаний и сдаче системы в эксплуатацию.

Структура, состав и описание функций системы «Скала-микро»

Система «Скала-микро» реализована в виде многоуровневой локальной управляющей вычислительной сети с четырьмя уровнями обработки информации [1].

Первый (нижний) уровень – уровень приема и первичной обработки информации от индивидуальных датчиков технологического объекта управления с сигнализацией на базовых средствах информационной модели энергоблока (индивидуальные и сборные табло БЩУ-О, звуковая сигнализация) и передачей информации на верхние уровни.

Второй уровень – уровень диагностической обработки данных, поступающих от устройств нижнего уровня системы «Скала-микро», спецсистем блока (КСКУЗ, УСБ-Т, БЭС, РЩУ) сети ETHERNET, с формированием архива и передачей на следующий уровень.

Третий уровень – уровень формирования базы данных. На этом уровне принимается информация, необходимая для проведения расчетов и представления информации.

Четвертый уровень – уровень представления информации оперативному и ремонтному персоналу (мониторы рабочих станций отображения информации, экран коллективного пользования, программируемая мнемосхема, принтеры, самописцы). Устройства этого уровня обеспечивают представление информации операторам энергоблока автоматически (на ЭКП и программируемой мнемосхеме) или по вызову (на экранах РСО и устройствах печати).

Комплекс технических средств системы «Скала-микро» включает следующее оборудование:

- устройства на базе микросредств управляющей вычислительной техники серии В10Р (шкафы ТО-М, КТП, КРВ, МСИ-М, ВДС-М, ВБС-М);
- устройства на базе ППЭВМ ЭКСПРО (шкафы ДРЕГ-Ц, ШСР, ЦВК-М и рабочие станции РСО и РСО ЭК);
- устройства кроссовые (шкафы КРР-М, КРА-МСИ и кроссовые шкафы системы «Скала»);
- устройства вторичного электропитания и коммутационные.

По объему вводимой и контролируемой информации система «Скала-микро» обеспечивает прием и обработку следующих сигналов:

- сигналов отклонения (дискретных сигналов «сухой контакт» ~3000 шт.), сигналов состояния оборудования и арматуры (дискретных сигналов запорно-регулирующего оборудования ~2000 шт., дискретных сигналов состояния оборудования систем «Скала-микро» и АЗРГК ~500 шт.). Цикл контроля – 0,5 с;

- сигналов от датчиков температурного контроля (~4000шт. аналоговых сигналов низкого уровня). Цикл контроля – 4 с;
- частотно-импульсных сигналов расходов воды в каналах ТК (1693 шт.) и СУЗ (227 шт.). Цикл контроля – 2 с;
- индивидуальных аналоговых сигналов среднего уровня (~700 шт.). Цикл контроля – 3 с.

В табл. 1 приведены состав и характеристики функций системы "Скала-микро":

Таблица 1

Наименование функции	Группа приоритета	Режим выполнения
1	2	3
Сигнализация на мнемосхеме и табло состояния и положения оборудования, сигналов отклонений и действий защит	1	По событию, время задержки не более 1 с
Ввод индивидуальных аналоговых сигналов от датчиков с индивидуальными нормирующими преобразователями	1	Периодически, период опроса не более 1 с
Ввод расходов в каналах СУЗ	1	Периодически, период опроса не более 2 с
Ввод поканальных расходов воды ТК	1	Периодически, период опроса не более 2 с
Ввод сигналов температурного контроля	1	Периодически, период опроса не более 5 с
Ввод двухпозиционных дискретных сигналов типа "сухой контакт"	1	Периодически, период опроса не более 1 с
Запись или измерение значений уставок сигнализации	2	По запросу, время реакции на запрос не более 2 с

Продолжение табл. 1

1	2	3
Контроль поканальных расходов воды в реакторе с сигнализацией на сборном табло, ЭКП и регистрацией отклонений	1	Периодически, период опроса не более 2 с
Контроль температуры газа КЦТК с сигнализацией на сборном табло и регистрацией отклонений	1	Периодически, период опроса не более 5 с
Контроль отдельных измеряемых и расчетных параметров с выдачей сигналов на МСХ и индивидуальное табло и регистрацией отклонений	1	Периодически, период опроса не более 5 с
Контроль оперативного запаса реактивности на стержнях СУЗ с выдачей на индивидуальное табло, самописец и цифровой прибор	1	Периодически, период опроса не более 1 с
Выдача информации о состоянии параметров поканального контроля на ЭКП по запросу персонала	1	По запросу, время реакции на запрос не более 2 с
Печать фиксированных массивов данных в виде картограмм и таблиц параметров	2	По запросу, время реакции на запрос не более 2 с
Представление на мониторе и распечатка на печатающем устройстве предыстории и развития аварии	2	По запросу, время реакции на запрос не более 2 с
Периодическая регистрация на самописцах по запросу персонала	2	По запросу, время реакции на запрос не более 2 с, период вывода не более 5 с
Периодическая регистрация предыстории и развития аварийных ситуаций	1	Периодически, период выполнения не более 2 с
Оперативные расчеты параметров реакторной установки	2	Периодически, период выполнения не более 5 с
Передача данных в общестанционную сеть	3	Периодически, период выполнения не более 1 мин

Первый (нижний) уровень приема и обработки информации в системе «Скала-микро» реализуется следующими подсистемами:

- сигнализации;
- ввода дискретных сигналов;
- температурного контроля;
- индивидуального контроля;
- контроля расхода воды в каналах ТК и СУЗ.

Подсистема сигнализации включает дублированные устройства ТО-М и кроссовое оборудование. Каждый шкаф ТО-М состоит из четырех контроллеров серии В10Р каждый из которых принимает до 192 сигналов отклонения и обеспечивает управление соответствующими индивидуальными и сборными табло. Прием и вывод информации на индивидуальные табло обеспечивается либо через кроссовые шкафы системы «Скала», либо через вновь поставляемые шкафы клеммных реек (КРР-М) на сборные табло и звуковую сигнализацию из шкафов ТО-М. Связь каждого контроллера ТО-М с верхним уровнем реализуется с помощью сети ETHERNET(витая пара).

Подсистема ввода дискретных сигналов включает дублированные устройства ВДС-М, ВБС-М и кроссовые шкафы КРР-М. Каждый шкаф ВДС-М состоит из четырех контроллеров серии В10Р, каждый из которых обеспечивает прием до 448 дискретных сигналов «сухой контакт». Шкаф ВБС-М включает четыре контроллера серии В10Р, каждый из которых обеспечивает прием (до 224) и выдачу (до 224) дискретных сигналов. Связь каждого контроллера ВДС-М и ВБС-М с верхним уровнем реализуется с помощью сети ETHERNET(витая пара).

Подсистема температурного контроля включает дублированные устройства КТП и кроссовые устройства системы «Скала». Каждый шкаф реализован на базе четырех программируемых контроллеров В10Р каждый из которых обеспечивает прием до 192 сигналов напряжения постоянного тока от термопар типа ТХА и ТХК с гальванической развязкой и групповой компенсацией температуры холодного спая программным способом путем измерения до 16-ти сигналов термометров сопротивления (дополнительно устанавливаемых), а также сигналов термометров сопротивлений (ТСМ и ТСР) после блоков выносных мостов. Связь каждого контроллера

КТП с верхним уровнем реализуется с помощью сети ETHERNET(витая пара или оптоволокно).

Подсистема индивидуального контроля включает дублированные устройства МСИ-М и кроссовый шкаф КРА-МСИ. Каждый шкаф МИС-М реализован на базе четырех программируемых контроллеров В10Р, каждый из которых обеспечивает прием до 360 сигналов напряжения постоянного тока 0...10 В, и выдачу до четырех сигналов напряжения постоянного тока 0...10 В. Преобразование сигналов постоянного тока 0...5 мА (или 4...20 мА) в сигнал напряжения постоянного тока 0...10 В выполняется в кроссовом шкафу КРА-МСИ. Связь каждого контроллера МСИ-М с верхним уровнем реализуется с помощью сети ETHERNET(витая пара).

Подсистема контроля расхода воды в каналах ТК и СУЗ включает дублированные комплектно шкафы КРВ, каждый состоящий из трех контроллеров серии В10Р, при этом каждый контроллер обеспечивает:

- прием до 88 сигналов датчиков «Шторм»;
- преобразование частотно-импульсных сигналов датчиков в цифровой код величины расхода воды;
- передачу информации в шкаф ЦВК-М по сети ДКМ.

Основной структурной единицей уровня диагностической обработки информации является шкаф ДРЕГ-Ц. Это устройство реализовано на базе трех промышленных персональных компьютеров ККСН «ЭКСПРО» и коммутаторов сети ETHERNET. Шкаф реализует сбор и диагностическую регистрацию информации, поступающей от источников информации по сети ETHERNET и передачу информации на уровень формирования базы данных, а также диагностическое вскрытие информации (отображение и регистрация) по запросу персонала блока.

Каждое устройство ШСР и ЦВК-М включает две рабочие станции ППЭВМ ЭКСПРО (РС СЕРВЕР и РС РАСЧЕТ для ШСР и РС ДКМ и РС БАЗА ДАННЫХ для ЦВК-М), коммутаторы ETHERNET и общие для рабочих станций источник бесперебойного электропитания и консоль. Рабочая станция СЕРВЕР обеспечивает предоставление своих ресурсов и услуг (дисковое пространство, очередь сетевой печати, межсетевую маршрутизацию и т.д.) другим рабочим станциям ЛСВУ. Рабочая станция РАСЧЕТ реализует комплекс программ расчета внутрореакторного энергораспределения с формированием текущего среза оперативной базы дан-

ных расчетных параметров. Рабочая станция РС-ДКМ обеспечивает сбор информации по сети ДКМ от шкафов КРВ и её обработку. Рабочая станция РС-БАЗА ДАННЫХ обеспечивает формирование единого текущего среза оперативной базы данных непосредственно измеряемой информации и её архивирование.

Расчет надежности оборудования

Система «Скала-микро» является многофункциональной, ремонтируемой, восстанавливаемой и обслуживаемой системой длительного функционирования.

Установление требований к уровню надежности системы производится согласно следующим характеристикам надежности: безотказности; ремонтпригодности; долговечности.

Для обеспечения заданной надежности контроллеры шкафов ТО-М, ВБС-М и КТП попарно резервируются (нагруженный резерв). При этом один из пары контроллеров должен находиться в режиме «Работа», второй – в режиме «Резерв». Шкафы ВДС-М, МСИ-М, ШСР-Р, ДРЕГ-Ц, ЦВК-М, КРВ взаимно дублированы, при этом один должен находиться в режиме «Работа», второй – в режиме «Резерв».

В процессе функционирования предусмотрен диагностический контроль каждого устройства с сигнализацией на лицевой панели шкафа и передачей информации в локальную сеть верхнего уровня.

На этапе разработки проводилась проектная оценка надежности системы «Скала-микро» с учетом комплекса технических средств. На этапе внедрения проектная оценка уточняется с учетом надежности действий оперативного персонала.

На этапе проектирования системы были разработаны модели расчета показателей надежности. На основании этих моделей по справочным данным о надежности комплектующих изделий были определены прогнозируемые показатели надежности.

Цель данного расчета состоит в подтверждении заложенных при проектировании показателей надежности. На этапе анализа функционирования системы производится оценка надежности с учетом статистических данных по отказам и сбоям КТС и ПО системы.

Система «Скала-микро» по надежности должна характеризоваться назначенным ресурсом и назначенным сроком службы и

отдельно для каждой функции наработкой на отказ и средним временем восстановления. По требованиям надежности выполнения все технологические функции системы разбиты на три группы приоритета и представлены в табл. 1.

Система должна обеспечивать выполнение технологических функций, перечисленных в табл. 1, при наработке на отказ T не менее и среднем времени восстановления τ не более при доверительной вероятности $\alpha = 0,9$ по функциям:

- первой группы приоритета $T=20000$ ч и $\tau=2$ ч;
- второй группы приоритета $T=10000$ ч и $\tau=4$ ч;
- третьей группы приоритета $T=1250$ ч и $\tau=8$ ч.

Оценки надежности находятся на основании методики, приведенной в [2]. Считаем, что все элементы отказывают согласно закону экспоненциального распределения.

Суммарная наработка элемента (блока) определяется по формуле

$$t_{\Sigma} = nt_0,$$

где n – количество элементов; t_0 – время в работе.

Оценка интенсивности отказов λ_{α} при числе отказов $d \neq 0$

Верхняя доверительная граница для интенсивности отказов находится по формуле

$$\lambda_{\alpha} = \frac{\chi^2_{(\alpha, 2d+2)}}{2t_{\Sigma}};$$

где $(2d+2)$ число степеней свободы. Значение χ^2 находим из [2, п.7.1].

Если для элемента возможны различные наработки и соответственно будут получены различные оценки надежности, то в этом случае находим средневзвешенную оценку надежности данного элемента

$$\lambda_{\alpha}^{cp} = \frac{\lambda_{\alpha 1} t_{\Sigma 1} + \lambda_{\alpha 2} t_{\Sigma 2} \dots + \lambda_{\alpha n} t_{\Sigma n}}{t_{\Sigma 1} + t_{\Sigma 2} + \dots + t_{\Sigma n}}.$$

Результаты расчета оценок верхней доверительной границы для интенсивности отказов отдельных устройств, входящих в состав системы «Скала-микро», представлены в табл. 2.

Таблица 2

Наименование устройства	Срок ввода в эксплуатацию	Количество блоков	Наработка блока, ч	Количество отказов	Интенсивность отказов, $\lambda \times 10^{-5}, 1/ч$
1	2	3	4	5	6
Процессор управляющий ПМИ07	май 2002, КуАЭС-1	8	276480		0,83
	август 2003, КуАЭС-1	48	1140480	4	0,70
	май 2004, КуАЭС-2	76	1313280	1	0,24
	август 2004, ЛАЭС-1	44	665280	1	0,47
	Итого	176	3395520	6	0,49
Устройство сопряжения ЦВВ15Р	август 2001, КуАЭС-1	32	1313280		0,18
	апрель 2002, КуАЭС-1	32	1128960		0,20
	май 2002, КуАЭС-1	120	4147200		0,06
	август 2003, КуАЭС-1	304	7223040	6	0,15
	май 2004, КуАЭС-2	748	12925440	2	0,04
	август 2004, ЛАЭС-1	620	9374400	4	0,09
	Итого	1856	36112320	12	0,09
Плата связи дискретных сигналов КП25М	май 2002, КуАЭС-1	120	4147200		0,06
	август 2003, КуАЭС-1	304	7223040		0,03
	май 2004, КуАЭС-2	572	9884160		0,02
	август 2004, ЛАЭС-1	508	7680960	2	0,07
	Итого	1504	28935360	2	0,04

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6
Плата связи дискретных сигналов КП30М	май 2004, КуАЭС-2	104	1797120	3	0,37
	август 2004, ЛАЭС-1	104	1572480		0,15
	Итого	208	3369600	3	0,27
Устройство сопряжения АВВ14Р	август 2003, КуАЭС-1	32	760320		0,30
	май 2004, КуАЭС-2	80	1382400	3	0,76
	август 2004, ЛАЭС-1	48	725760	2	0,73
	Итого	160	2868480	5	0,63
Устройство сопряжения АВ12Р	август 2003, КуАЭС-1	384	9123840	4	0,09
	май 2004, КуАЭС-2	384	6635520	4	0,12
	Итого	786	15759360	8	0,10
Плата связи аналоговых сигналов КП26	август 2003, КуАЭС-1	416	9884160		0,02
	май 2004, КуАЭС-2	464	8017920		0,03
	август 2004, ЛАЭС-1	48	725760		0,32
	Итого	928	18627840		0,04
Процессор ПМИ01НП	август 2001, КуАЭС-1	38	1559520		0,15
	апрель 2002, КуАЭС-1	32	1128960	2	0,47
	май 2004, КуАЭС-2	70	1209600		0,19
	Итого	140	3898080	2	0,25

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6
Модуль КРВМ (КРВМ1)	август 2001, КуАЭС-1	330	13543200		0,02
	апрель 2002, КуАЭС-1	264	9313920	5	0,10
	май 2004, КуАЭС-2	594	10264320	4	0,08
	Итого	1188	33121440	9	0,06
Устройство сопряжения ЦВВ07Р	август 2001, КуАЭС-1	38	1559520		0,15
	апрель 2002, КуАЭС-1	32	1128960	2	0,47
	май 2004, КуАЭС-2	70	1209600		0,19
	Итого	38	3898080	2	0,20
Источник вто- ричного элек- тропитания МИП 80	август 2001, КуАЭС-1	38	1559520		0,15
	апрель 2002, КуАЭС-1	32	1128960		0,20
	май 2002, КуАЭС-1	8	276480		0,83
	август 2003, КуАЭС-1	48	1140480		0,20
	май 2004, КуАЭС-2	146	2522880	1	0,12
	август 2004, ЛАЭС-1	44	665280		0,35
	Итого	316	7293600	1	0,20
ККСН ЭКСПРО	май 2002, КуАЭС-1	18	622080	2	0,85
	май 2004, КуАЭС-2	28	483840		0,48
	август 2004, ЛАЭС-1	24	362880		0,63
	Итого	34	1468800	2	0,67

1	2	3	4	5	6
Источник бесперебойного питания PW9125-2000В·А Powerware	май 2002, КуАЭС-1	2	69120	2	7,67
	май 2004, КуАЭС-2	6	103680	1	3,01
	август 2004, ЛАЭС-1	4	60480	1	5,17
	Итого	12	233280	4	4,95
Коммутатор 3ComSuper Stack 3 3300 3С16980А	май 2002, КуАЭС-1	2	69120		3,33
	май 2004, КуАЭС-2	4	69120	3	9,69
	август 2004, ЛАЭС-1	4	60480		3,80
	Итого	10	198720	3	5,69
Система единого времени ИВЧ-1 ЯКШГ.468262.001	май 2002, КуАЭС-1	2	69120		3,33
	май 2004, КуАЭС-2	2	34560		6,66
	август 2004, ЛАЭС-1	2	30240	1	10,33
	Итого	6	133920	1	5,77

Оценка надежности выполнения технологических функций системы «Скала-микро» по результатам эксплуатации

Для восстанавливаемых систем (элементов) обычно рассматриваются следующие показатели надежности: T – среднее время безотказной работы; τ – среднее время восстановления; $P(t)$ – вероятность безотказной работы системы за время работы от 0 до t ; t_r – гарантированное время работы системы; t_3 – заданное время работы системы.

Для оценки характеристик надежности восстанавливаемых систем:

– составляем структурные схемы надежности (ССН) по 23 технологическим функциям системы «Скала-микро»;

- для расчета разбиваем каждую ССН на n последовательно соединенных групп элементов;
- каждую группу элементов, имеющую в своем составе какой-то резерв, заменяем эквивалентным ей элементом, характеризующимся эквивалентной интенсивностью отказов $\lambda_{\text{экр}}$.

Расчет производим на основе экспоненциальных законов распределения времени работы до отказа и времени восстановления, для системы с нагруженным резервом и неограниченным восстановлением согласно работе [3].

Для расчета $\lambda_{\text{экр}}$ воспользуемся формулой :

$$T = \frac{1 + (2k + 1)\gamma}{k\lambda(k + 1)\gamma} \approx \frac{1}{k\lambda(k + 1)\gamma},$$

где $\gamma = \lambda/\mu$; $\mu = 1/2\tau$, где μ - интенсивность восстановления, τ - среднее время восстановления.

Откуда $\lambda_{\text{экр}} = \frac{1}{T} = \frac{k\lambda(k + 1)\gamma}{1 + (2k + 1)\gamma} \approx k\lambda(k + 1)\gamma$, $P(t_0) = e^{-\lambda_{\text{экр}}t_0}$.

В результате расчетов получаем эквивалентную систему из последовательно соединенных восстанавливаемых элементов:

$$\lambda = \sum_{j=1}^n \lambda_{\text{экр}}, \quad T = \frac{1}{\lambda}, \quad P(t_0) = e^{-\lambda t_0}.$$

Результаты расчета представлены в табл. 3, $t_r=2$ г. принято исходя из того, что гарантийный срок службы оборудования системы «Скала-микро» равен 2 г.

Таблица 3

Наименование функции	Используемое оборудование	τ , ч	$\Sigma\lambda_{\text{экр}} \times 10^{-10}$, 1/ч	$T \times 10^5$, ч	$P(t_r)$, $t_r=2$ г.	$P(t_s)$, $t_s=10$ лет
1	2	3	4	5	6	7
Сигнализация на мнемосхеме и табло состояния и положения оборудования, сигналов отклонений и действий защит	ТО-М, КРР-М	2	1719	58	0,99704	0,98530

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6	7
Ввод индивидуальных аналоговых сигналов от датчиков с индивидуальными нормирующими преобразователями	МСИ-М, ДРЕГ-Ц, ШСР, КРА-МСИ	2	6661	15	0,98859	0,94424
Ввод расходов в каналах СУЗ	КРВ1.С, ЦВК-М, ШСР	2	3742	27	0,99357	0,96828
Ввод поканальных расходов воды ТК	КРВ1.А, ЦВК-М, ШСР	2	3966	25	0,99319	0,96642
Ввод сигналов температурного контроля	КТП, ШСР	2	4833	21	0,99171	0,95922
Ввод двухпозиционных дискретных сигналов типа "сухой контакт"	ВДС-М, ДРЕГ-Ц	2	4218	24	0,99276	0,96432
Запись или измерение значений уставок сигнализации	ШСР	4	4990	20	0,99144	0,95793
Контроль поканальных расходов воды в реакторе с сигнализацией на сборном табло, ЭКП и регистрацией отклонений	КРВ1.А, ЦВК-М, ШСР, ВБС-М, ТО-М, КРР-М, РСО-ЭКП	2	5965	17	0,98978	0,94992
Контроль температуры газа КЦТК с сигнализацией на сборном табло и регистрацией отклонений	КТП, ШСР, ВБС-М, ТО-М, КРР-М	2	6832	15	0,98830	0,94285

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6	7
Контроль отдельных измеряемых и расчетных параметров с выдачей сигналов на МСХ и индивидуальное табло и регистрацией отклонений	МСИ-М, ДРЕГ-Ц, ШСР, ВБС-М, ТО-М, КРР-М, КРА-МСИ	2	8660	12	0,98519	0,92812
Контроль оперативного запаса реактивности на стержнях СУЗ с выдачей на индивидуальное табло, самописец и цифровой прибор	ДРЕГ-Ц, ШСР, ВБС-М, ТО-М, КРР-М	2	7758	13	0,98672	0,93536
Выдача информации о состоянии параметров локального контроля на ЭКП по запросу персонала	ШСР, PCO, PCO- ЭКП	2	2637	38	0,99547	0,97754
Печать фиксированных массивов данных в виде картограмм и таблиц параметров	ШСР, PCO	4	5132	19	0,99120	0,95676
Представление на мониторе и распечатка на печатающем устройстве предыстории и развития аварии	ДРЕГ-Ц, PCO	4	6670	15	0,98858	0,94417
Периодическая регистрация на самописцах по запросу персонала	ШСР, МСИ-М, PCO	4	6302	16	0,98920	0,94716

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6	7
Периодическая регистрация предыстории и развития аварийных ситуаций	МСИ-М, ВДС-М, ДРЕГ-Ц, КРА-МСИ	2	5120	20	0,99122	0,95686
Оперативные расчеты параметров реакторной установки	МСИ-М, ВДС-М, ШСР, КРА-МСИ	4	6661	15	0,98859	0,94424
Передача данных в общестанционную сеть	ШСР	8	9980	10	0,98295	0,91763

Средняя наработка на отказ и оценка надежности отдельных шкафов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Наименование шкафа	$\Sigma\lambda_{\text{экр}} \times 10^{-10}, 1/\text{ч}$	$T \times 10^5, \text{ч}$	$P(t_r),$ $t_r=2 \text{ г.}$	$P(t_s),$ $t_s=10 \text{ лет}$
ВБС-М	280	357	0,99952	0,99759
ВДС-М	954	105	0,99836	0,99182
ТО-М	263	380	0,99955	0,99774
КТП	334	299	0,99942	0,99713
МСИ-М	585	171	0,99899	0,99497
КРВ-1.А(С)	243	412	0,99958	0,99791
ШСР-Р	2495	40	0,99571	0,97874
ДРЕГ-Ц	3264	31	0,99439	0,97228
ЦВК-М	1228	81	0,99789	0,98948
КРР-М	141	709	0,99976	0,99879
КРА-МСИ	317	315	0,99945	0,99727

Анализ надежности оборудования

Проведенные расчеты надежности блоков и устройств системы «Скала-микро» по результатам их эксплуатации за 2001 - 2006 гг. показали, что большинство являются достаточно надежными и удовлетворяют требованиям надежности, заложенным при проектировании. Кроме того, расчет подтверждает выполнение требова-

ний по надежности для всех технологических функций системы. Так, нижняя доверительная граница для вероятности безотказной работы (ВБР) по каждой выполняемой функции за заданное время эксплуатации $t_3 = 10$ лет не ниже 0,9, а нижняя доверительная граница для ВБР для любого шкафа не ниже 0,9688.

В то же время проведенный анализ оценок надежности блоков позволяет выделить ряд устройств, оценки надежности которых являются на порядок ниже общепринятых.

В качестве критерия общепринятой оценки надежности блока принята средняя интенсивность отказа блока порядка 10^{-6} 1/ч.

Блоки, для которых средняя интенсивность отказов является выше заданного критерия, т.е. порядка 10^{-5} 1/ч (во многом это объясняется небольшим количеством и соответственно меньшим временем наработки этих устройств, находящихся в эксплуатации):

- источник бесперебойного питания PW9125-2000BA Powerware;
- система единого времени ИВЧ-1 ЯКШГ.468262.001;
- коммутатор 3ComSuper Stack 3 3300 3C16980A.

Наличие данных систем и блоков, в общем, не снижает надежность системы. Высокая надежность системы по выполняемым технологическим функциям достигается во многом за счет резервирования каналов приема и обработки и отображения информации.

Список сокращений

АЗРГК – аварийная защита реактора по снижению расхода в раздаточно-групповых коллекторах;

БЩУ – блочный щит управления;

БЭС – бесперебойное энергоснабжение;

ВДС-М - ввод дискретных сигналов;

ВБС-М - вывод блокировок и сигналов;

ДКМ – дистанционная контроллерная магистраль;

ДРЕГ-Ц - шкафы диагностики и регистрации;

ККСН – комплект компьютерный специального назначения;

КТП - контроль температурных параметров;

КРВ - контроль расхода воды;

КРР-М - шкаф клеммных реек;

КРА-МСИ - клеммные рейки для приема аналоговых сигналов;

КСКУЗ – комплексная система контроля, управления и защиты;

КСУ АР – комплексная система управления аварийным расхолаживанием;

КуАЭС – Курская атомная электростанция;

ЛАЭС - Ленинградская атомная электростанция;
ЛСВУ – локальная сеть верхнего уровня;
МСИ-М - микросистемы приема индивидуальных аналоговых сигналов;
МСХ – шкаф выдачи на мнемосхему;
МИП – магнитоимпульсный преобразователь;
ППЭВМ ЭКСПРО – промышленная ПЭВМ;
РСО – рабочая станция отображения;
РСО ЭК – рабочая станция управления экраном коллективного пользования;
РЩУ – резервный щит управления;
УСБ-Т – управляющая система безопасности;
ШСР – шкаф серверов и расчетов;
ЦВК-М – шкаф центрального вычислительного комплекса;
ЭКП – экран коллективного пользования.

Литература

1. Джумаев С.Д. Разработка и ввод в эксплуатацию нового поколения информационно-измерительной системы «Скала-микро» / С.Д. Джумаев // Электротехника – М., 2005. – №6.
2. Сборник задач по теории надежности / Под редакцией А.М. Половко, И.М. Маликова. – М.: Советское радио, 1972.
3. Справочник по расчету надежности / Под редакцией Б. Козлова, И. Ушакова. – М.: Советское радио, 1975.