

ЯДЕРНАЯ И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ



1 ' 2005

СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК
"НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ АЭС"

УДК 621.039.058

В.В. Елисеев¹, Г.Ю. Пивоваров¹, А.С. Набатов¹, С.А. Мошинский², В.В. Скляр²,
Л.И. Спектор²

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ НЕЙТРОННОГО ПОТОКА ДЛЯ РЕАКТОРОВ ВВЭР-1000: ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ

¹ЗАО Северодонецкое научно-производственное объединение «Импульс»

² Государственный научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности

Статья посвящена системе контроля нейтронного потока АКНП-И. В статье отражены следующие вопросы:

- общие сведения о системе;
- анализ соответствия системы требованиям по безопасности;
- анализ результатов испытаний системы.

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМЕ

Система контроля нейтронного потока (АКНП-И) разработана ЗАО «СНПО «Импульс»» для замены аналогичной системы и ее технических средств, выработавших срок службы, а также для применения на вновь вводимых энергоблоках АЭС с реакторами типа ВВЭР-1000.

Основными целями создания АКНП-И являются:

- снижение риска аварии;
- увеличение надежности действия защит в аварийных ситуациях;
- сокращение времени простоя блока в плановых ремонтах и уменьшение числа аварийных остановов вследствие повышения технического уровня эксплуатации;
- улучшение условий и культуры труда обслуживающего персонала.

АКНП-И совместно с системой аварийной защиты (АЗ) выполняет функции второго уровня глубоководной защиты реакторной установки по нейтронно-физическим параметрам и является составной частью системы управления и защиты (СУЗ) реактора типа ВВЭР-1000. В соответствии с [1] и [2] АКНП-И относится к системе, совмещающей назначение и функции управляющих систем безопасности (УСБ) и управляющих систем нормальной эксплуатации (УСНЭ), классификационное обозначение 2НУ. АКНП-И, как составная часть СУЗ, предназначена для всех режимов работы реактора, включая подкритическое состояние и загрузку топлива.

Аббревиатура АКНП (аппаратура контроля нейтронного потока) содержит слово «аппаратура», которое соответствует понятию «технические средства». Вместе с тем, АКНП-И выполняет следующие функции, соответствующие понятию система:

- контроль относительной физической мощности

реактора, скорости (периода) ее изменения и реактивности посредством измерения плотности потока нейтронов;

- формирование дискретных сигналов превышения уставок аварийной и предупредительной защиты, а также уставок управления и регулирования по относительной физической мощности и периоду для СУЗ и АСУ ТП энергоблока;
- отображение и представление информационных аналоговых и дискретных сигналов операторам блочного щита управления (БЩУ) и резервного щита управления (РЩУ), перегрузочной машины и обслуживающему персоналу в оптическом (панели сигнализации, дисплеи, светодиоды) и акустическом (звуковой индикатор плотности потока нейтронов) виде;
- непрерывную регистрацию текущих значений относительной физической мощности реактора и периода;
- непрерывную диагностику состояния технических средств и представления полученной информации оператору БЩУ и обслуживающему персоналу.

Поэтому, АКНП-И рассматривается как система, а не как набор технических средств или программно-технический комплекс (ПТК). Тем более, что ГОСТ 27445-87 [3] называется «Системы контроля нейтронного потока для управления и защиты ядерных реакторов».

1.1 Состав системы

АКНП-И состоит из трех идентичных комплектов технических средств: двух АКНП аварийной и предупредительной защиты (АПЗ) для СУЗ, одного АКНП - для резервного щита управления (РЩУ).

Сравнительные характеристики АКНП-И и предыдущих разработок (АКНП-7-02, АКНП-7-02Б) приведены в табл. 1.

НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ И ИХ КОМПОНЕНТЫ

Таблица 1 Сравнительные характеристики АКНП-И и предыдущих разработок

| Характеристика | АКНП-И | АКНП-7-02Б (2002 г.) | АКНП-7-02 (1988 г.) |
|---|--|--|---|
| Структура комплекса | 2 независимых комплекта АКНП-АПЗ; 1 комплект АКНП-РЦУ; аппаратура для контроля перегрузки топлива интегрирована в АКНП-АПЗ | 2 комплекта для АЗ/ПЗ; 1 комплект для РЦУ; 2 комплекта для контроля перегрузки топлива | 2 комплекта для АЗ-ПЗ; 1 комплект для РЦУ; 2 комплекта СКП; комплект АФП |
| Диапазон контроля мощности, % номинальной мощности Рн ДР (диапазон рабочий) ДП (диапазон пусковой) СКП (система контроля перегрузки) | 10^{-4} -120 10^{-7} - 10^{-1} 10^{-10} - 10^{-4} | 10^{-4} -120 10^{-7} - 10^{-1} 10^{-10} - 10^{-4} | 10^{-4} -120 10^{-7} - 10^{-1} 10^{-10} - 10^{-5} |
| Диапазон контроля периода, с | $\pm(5-999)$ | $\pm(10-500)$ | $\pm(10-500)$ |
| Диапазон контроля реактивности | -20...+0,6 | -25...+1 | - |
| Постоянная времени каналов контроля, с ДР2 ДР1 ДП СКП | | 0,02 20...0,2 200...0,2 200...0,2 | |
| Устройства детектирования ДР ДП СКП | | УДПН-06Р2 (камера КНК-53М) УДПН-03Р1 (камера КНК-15) УДПН-18Р (счетчики СНМ-18-1) | |
| Сигналы защиты по уровню мощности ДР2 ДР1, ДП СКП | | АЗР (аварийная защита по мощности), ПЗР (предупредительная защита по мощности), РМР (регулирование мощности) АЗР, ПЗР РЕВЕРС, СТОП | |
| Уставки по мощности ДР2 ДР1, ДП СКП | От 2 до 107 % 6 уставок 5 уставок | От 1 до 107 % 6 уставок 5 уставок | |
| Ввод уставок по мощности с БЩУ | Выбор уставки с отображением на индикаторе УВУ и ввод уставки нажатием специальной кнопки, которая пломбируется | Немедленное изменение уставки после поворота "колесного" переключателя на панели ввода уставок | |
| Сигналы защиты по периоду ДР2 ДР1, ДП СКП | | АЗТ, ПЗТ, РМТ АЗТ, ПЗТ РЕВЕРС, СТОП | |
| Уставки по периоду | | 3 уставки | |
| Ввод уставок по периоду в УНО | Неоперативное изменение конфигурации УНО с помощью УТО | С помощью кнопок в УНО | |
| Встроенный имитатор сигналов от УД фиксированная мощность фиксированный период фиксированная реактивность | + + + | + + (ограниченное количество значений) - | |
| Предупредительные сигналы оператору о необходимости увеличить или уменьшить уставку по мощности в ДР2 ("Уставка-вверх", "Уставка-вниз") | Есть | Нет | |

| Характеристика | АКНП-И | АКНП-7-02Б (2002 г.) | АКНП-7-02 (1988 г.) |
|---|--|--|------------------------|
| Автоматическая оперативная диагностика дискретных выходных каналов по обратным связям | Для всех каналов | Только для каналов СУЗ | |
| Автоматическая оперативная диагностика аналоговых выходных каналов по обратным связям | Да, для всех каналов | Нет | |
| Оперативный контроль номиналов источников питания | Измерение значений напряжений питания | Контроль основных напряжений питания компараторами на превышение уровня | |
| Оперативный контроль температуры в устройствах | Есть | Нет | |
| Оперативная корректировка (тарировка) показаний мощности (выравнивание с СВРК) | Ввод с БЩУ с помощью УВУ требуемого значения мощности; автоматический пересчет коэффициентов тарировки в УНО | Ввод расчетного трехзначного коэффициента тарировки с помощью переключателей в шкафу УНО с последующим контролем новых показаний мощности (итерационный процесс) | |
| Взаимодействие УНО с операторскими устройствами | Логические протоколы взаимодействия через двунаправленные каналы ИРПС с взаимным контролем работоспособности | Аналоговые и дискретные сигналы без контроля работоспособности | |
| Отображение диагностической информации | Светодиоды; сообщения на индикаторах (экранах) устройств; специализированные кадры на экране устройства технического обслуживания (УТО) в УНО с возможностью их просмотра на удаленной ПЭВМ через Ethernet | Светодиоды или лампочки на панелях устройств и на БЩУ | |
| Регистрация значений мощности, периода, реактивности | Экранные регистраторы SIREC DM сохраняют значения мощности и периода на flash-дисках; выдача через Ethernet всех расчетных значений и состояний выходных сигналов в сервер архивирования (IBM-совместимая рабочая станция) | Регистрация значений мощности и периода на бумажных носителях (самописцы РП-160) | |
| Проверка работоспособности при техническом обслуживании | Большинство проверок автоматизировано: контрольные задачи УНО и АКНП, запускаемые в УТО; встроенные средства самотестирования устройств | Большое количество ручных действий в соответствии с инструкциями | |

Каждый из независимых комплектов АКНП-АПЗ (см. рис. 1) состоит из:

- трех независимых каналов контроля нейтронного потока;
- общих для трех каналов контроля нейтронного потока устройств отображения и регистрации (для БЩУ и пульта перегрузочной машины).

Каждый канал контроля нейтронного потока включает устройства детектирования (УД), устройство накопления и обработки (УНО) и устройство ввода уставок мощности (УВУ).

УД обеспечивают преобразование плотности потока тепловых нейтронов в электрические сигналы и формируют гальванически развязанные сигналы

для УНО. УД состоят из:

- блоков детектирования (на базе ионизационных камер или счетчиков нейтронов);
- блоков усиления и преобразования.

УНО принимает сигналы от УД и от блока ввода уставок, вычисляет текущие значения относительной физической мощности и периода, сравнивает их с уставками, вычисляет реактивность. В УНО формируются выходные сигналы для программно-технических комплексов (ПТК) систем аварийной и предупредительной защиты (АЗ-ПЗ), разгрузки и ограничения мощности, ускоренной предупредительной защиты и автоматического регулирования мощности реактора

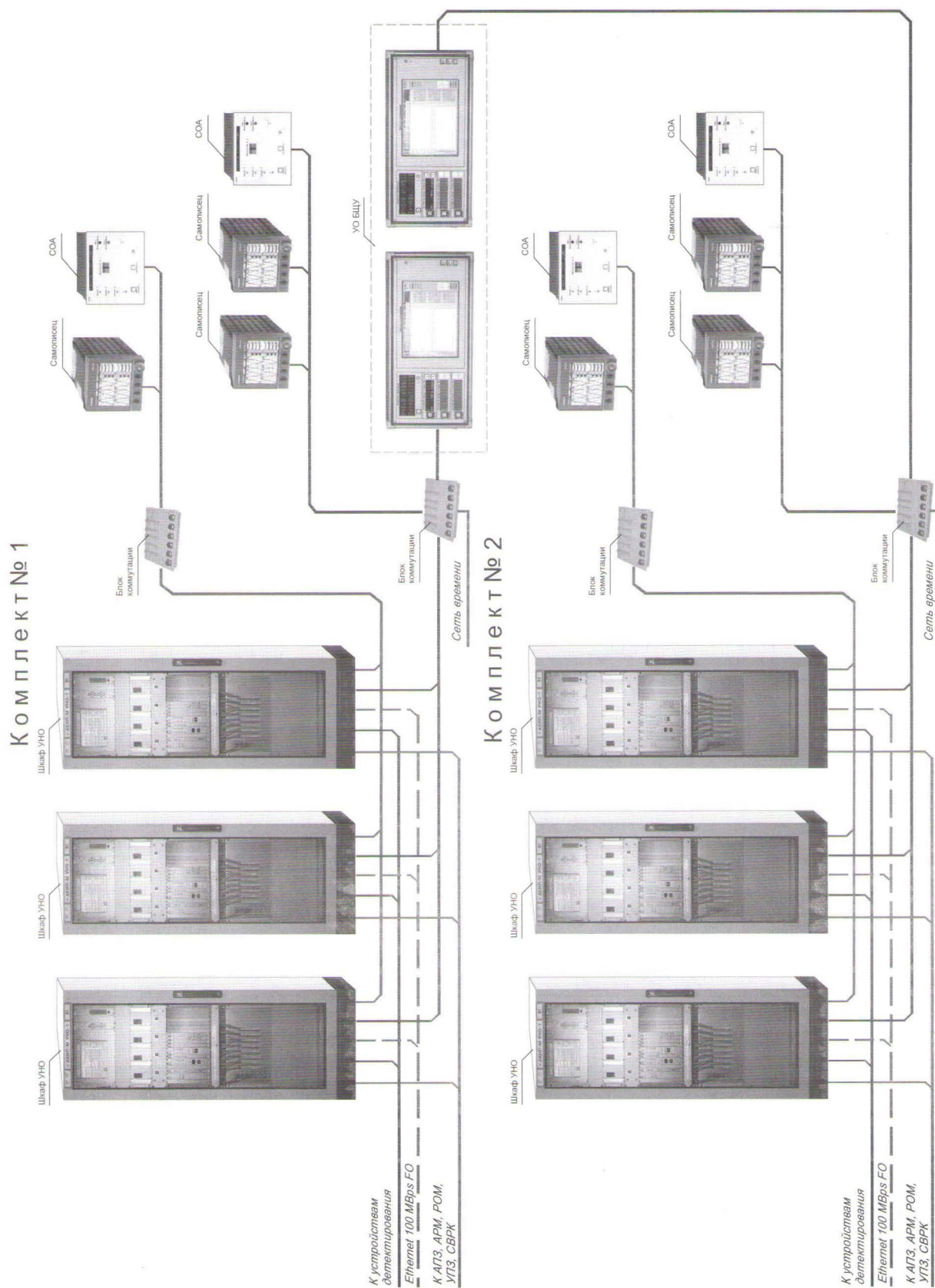


Рис. 1 Функциональная схема комплекта АКНП-АПЗ

(АРМ-РОМ-УПЗ), системы внутриреакторного контроля (СВРК), а также устройств отображения на БЩУ и на пульте перегрузочной машины (система контроля перегрузки – СКП).

УВУ каждого канала контроля нейтронного потока обеспечивает ввод уставок мощности и корректировку (тарировку) показаний относительной физической мощности, формируемой каналом контроля.

Дисплей функциональный (ДФ) обеспечивает отображение значений относительной физической мощности, периода и реактивности в виде гистограмм, цифровых значений, а также трендов.

Индикатор символьный (ИнС) обеспечивает отображение значений относительной физической мощности и периода в виде цифровых значений.

УВУ для трех каналов контроля, ДФ и ИнС для каждого канала контроля размещаются на БЩУ.

Сигнализатор оптико-акустический (СОА) обеспечивает:

- звуковую сигнализацию уровня нейтронного потока в пусковом диапазоне от 10^0 до 10^2 п·см⁻²/s (от 0 до 16 imp/s);
- оптическую сигнализацию рабочего состояния канала загрузки топлива (сигнал «РАБОТА»), превышения предупредительной и аварийной уставок по уровню нейтронного потока и периоду при загрузке топлива (сигналы «СТОП», «РЕВЕРС» соответственно).

Устройства регистрации обеспечивают архивирование на сменном носителе информации (энергетически независимая flash-память) текущих значений относительной физической мощности и периода.

Для оперативного контроля работоспособности АКНП-И и обеспечения регламентных работ в состав каждого канала контроля нейтронного потока входит устройство технического обслуживания (УТО).

Комплект АКНП-РЩУ состоит из:

- трех каналов контроля нейтронного потока;
- общих для трех каналов устройств отображения и регистрации.

1.2 Устройства детектирования АКНП-И

Устройства детектирования АКНП-И, поставляемые «СНИИП-Атом» (Россия) обеспечивают контроль нейтронного потока в диапазоне от 10^{-3} до 10^9 п·см⁻²/s, в том числе:

- при загрузке (перегрузке) активной зоны – от 10^{-3} до 10^2 п·см⁻²/s;
- в пусковом диапазоне – от 1,0 до 10^6 п·см⁻²/s;
- в рабочем диапазоне – от 10^4 до 10^9 п·см⁻²/s.

Все блоки детектирования, включая блоки детектирования для контроля загрузки активной зоны, размещаются в каналах биологической защиты реактора.

Блоки детектирования для контроля загрузки активной зоны должны перемещаться в

процессе эксплуатации: Перед загрузкой топлива блоки поднимаются к центру активной зоны; после загрузки – опускаются к крайнему нижнему положению в каналах биологической защиты.

Диапазон контроля УД СКП позволяет использовать эти устройства не только при загрузке топлива, но и при выводе реакторной установки на минимальный контролируемый уровень (практически до середины пускового диапазона). Учитывая невысокий ресурс используемых в датчиках газоразрядных счетчиков, пользоваться этой возможностью допустимо в исключительных случаях, в частности – при физпуске нового энергоблока. Рис. 2 иллюстрирует контроль относительной физической мощности при физпуске нового энергоблока ХАЭС2. Средствами СКП рост мощности контролируется от 10^{-10} до 10^{-5} % номинальной мощности реактора (линия СКП на рис. 2), а средствами пускового диапазона – от превышения порога чувствительности УД пускового диапазона (линия ДП). По горизонтальной оси приведены отсчеты времени. В момент 02:44:33 рост мощности приостанавливался операторами БЩУ путем управления органами регулирования реактора.

В зависимости от комплектации энергоблока перемещение блока детектирования СКП в канале реактора может выполняться механическим воротом или с помощью механизма перемещения на базе электродвигателя с редуктором. Для обеспечения возможности использования механизмов перемещения в состав АКНП-И включаются устройства управления механизмами перемещения. На лицевой панели устройства помимо ключа управления реализован монохромный дисплей, отображающий перемещение и положение блока детектирования в канале реактора.

1.3 Особенности преобразования сигналов УД в значения относительной физической мощности, периода и реактивности

Для вычисления относительной физической мощности, периода и реактивности, сравнения с уставками применена программная обработка на базе микропроцессоров. По сравнению с аналоговой обработкой или обработкой на базе цифровых автоматов применение микропроцессоров обеспечивает преобразования с любой заданной точностью, а с учетом высокого быстродействия (сотни миллионов инструкций в секунду) микропроцессоров – практически неограниченное быстродействие для применений в системе класса АКНП. При этом все функции обработки сосредоточены в одной интегральной микросхеме (ИМС) микропроцессора (включая ОЗУ, сторожевой таймер, службу времени, и прочие атрибуты современного микропроцессора). Дополнительная ИМС flash-памяти позволяет хранить долговременные настройки, постоянные коэффициенты и прочие данные. Рассеиваемая мощность (уровня 150 милливатт для ИМС микропроцессора) позволяет не применять

вентиляторы для обеспечения теплового режима устройств. Небольшой объем оборудования для реализации основных функций измерительного канала гарантирует обеспечение требуемых надежных характеристик показаний относительной физической мощности каналов в пусковом диапазоне.

Реактивность вычисляется на основе модели кинетики реактора, учитывающей шесть групп запаздывающих нейтронов. В канале контроля нейтронного потока реактивность вычисляется по сигналам от блоков детектирования пускового и рабочего диапазонов, входящего в состав этого канала. Усредненная реактивность вычисляется в функциональном дисплее по сигналам от датчиков трех каналов контроля нейтронного потока. Диапазон измеряемых значений реактивности от минус 20 до +0,6 $\beta_{эф}$. Длительность цикла вычисления реактивности не превышает 100 ms.

1.4 Реализация аварийных и предупредительных защит

Сигналы защит формируются путем сравнения текущих значений относительной физической мощности и периода с уставками. При контроле загрузки активной зоны по результатам сравнения с уставками могут быть сформированы сигналы аварийной защиты СТОП и предупредительной защиты РЕВЕРС. В пусковом и рабочем диапазонах по результатам сравнения с уставками могут формироваться сигналы аварийной защиты АЗ, предупредительной защиты (ПЗ) и

сигналы регулирования мощности (РМ). Сравнение с уставками выполняется микропрограммно в микропроцессорах.

Ввод уставок для каждого канала контроля нейтронного потока выполняется посредством устройства ввода уставок. Устройство ввода уставок оснащено двухстрочным символьным индикатором и клавишами управления для выбора и ввода уставки. Одна строка индикатора отображает текущие уставки диапазона СКП, пускового и рабочего диапазонов. Вторая строка используется при изменении уставки. Технология ввода очередной уставки выбрана с учетом предотвращения ошибок оператора.

При работе в режиме СКП (при контроле загрузки активной зоны или при контроле выхода на минимальный контролируемый уровень) контроль относительной физической мощности выполняется по двум уставкам – по уставке диапазона СКП и уставке пускового диапазона. При работе в пусковом и энергетическом диапазонах используется уставка для текущего значения относительной физической мощности, задаваемая в процентах от номинальной мощности реактора. Уставка по периоду постоянна и в процессе эксплуатации не изменяется. Текущие уставки хранятся в канале контроля нейтронного потока при запланированном и аварийном отключении питания. После включения питания (либо рестарте) автоматически устанавливаются уставки, введенные до отключения питания.

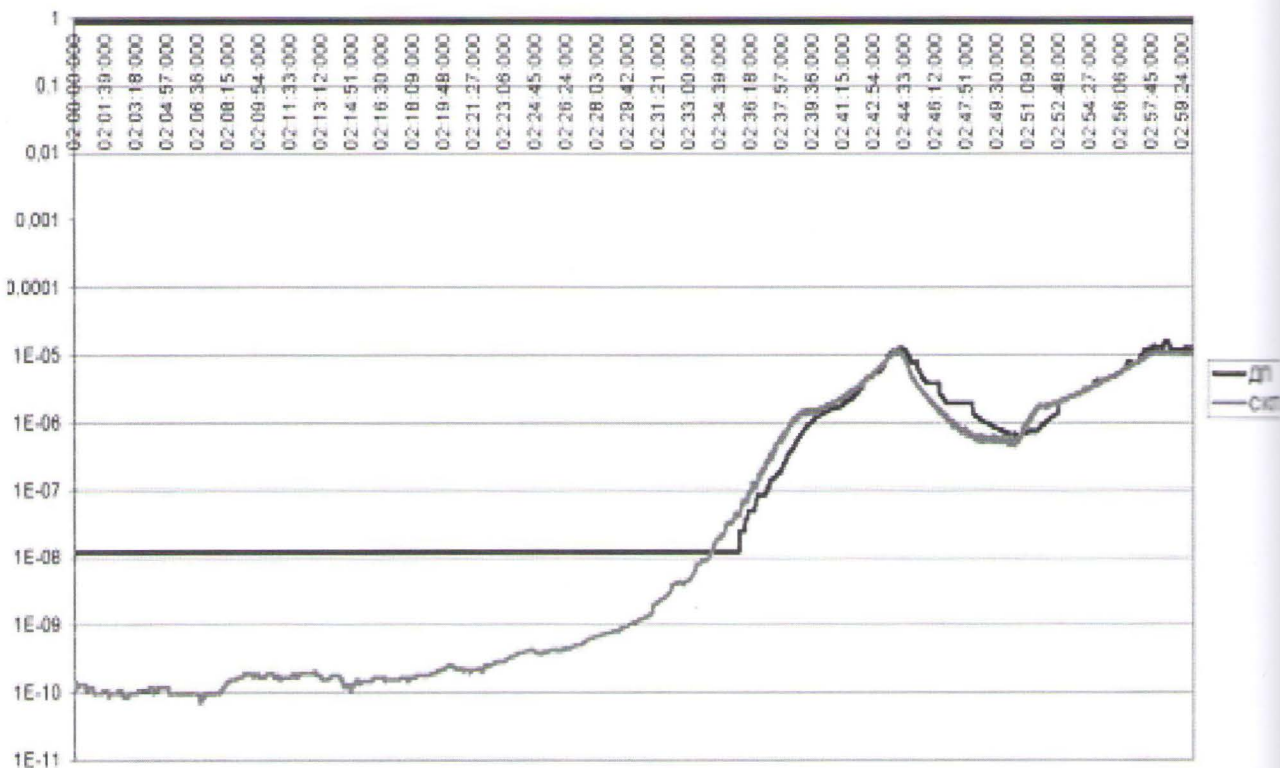


Рис. 2 Контроль относительной физической мощности при физпуске нового энергоблока ХАЭС2

1.5 Отображение состояния АКНП-И на БЩУ

Для отображения состояния АКНП-И на БЩУ применяются панели сигнализации. На панелях сигнализации отображается информация:

- об исправности технических средств;
- о текущем диапазоне работы;
- о достижении уставок аварийной и предупредительной защиты по относительной физической мощности и периоду;
- о необходимости вывода защиты («уставка вверх») при приближении текущей относительной мощности в канале к уставке на 5 %;
- о необходимости ввода защиты («уставка вниз») при удалении текущей относительной мощности в канале от уставки на 20 %;
- о начале и конце диапазона измерения.

В отличие от типовой схемы индикации (через унифицированные комплекты технических средств – УКТС) сигналы из УНО непосредственно передаются на панели сигнализации.

1.6 Сервер архивирования АКНП-И

Сервер архивирования обеспечивает создание, просмотр, документирование и копирование архива системы контроля нейтронного потока. Сервер удовлетворяет требованиям НТД по архивированию переходных и аварийных режимов и обеспечивает доступ к архиву АКНП-И подразделений АЭС, занимающихся обеспечением и анализом безопасности.

Источником информации являются каналы контроля нейтронного потока. Непрерывно (каждые полсекунды) информационный кадр из канала контроля нейтронного потока по радиальным оптоволоконным линиям связи Ethernet 100Base-FX поступают на вход сервера. Полученная информация идентифицируется, контролируется и размещается в базе данных архива АКНП-И. База данных представляет собой набор файлов на жестких дисках, организованных как RAID-массив, и доступна как клиенту сервера, так и клиентам удаленного доступа (как общий сетевой ресурс).

По каждому каналу контроля нейтронного потока сервер обеспечивает:

- прием, накопление и хранение основных параметров АКНП-И в долговременном (помесячно за год с дискретностью 1s) архиве;
- прием, накопление и хранение всех параметров АКНП-И - в кратковременном (за сутки с дискретностью 5ms) архиве;
- прием, накопление и хранение записей из журналов контроля АКНП-И;
- просмотр текущих архивируемых параметров АКНП-И в реальном масштабе времени на экране монитора;
- просмотр архивных параметров (в том числе – записанных на магнитооптических носителях и CD) на экране монитора в графической и табличной формах;
- копирование архивных параметров и журналов

контроля на магнитооптические носители и CD-RW;

- преобразование архивных параметров в формат Microsoft Excel;
- документирование (печать на принтер или в файл) отображаемых кадров параметров и фрагментов журналов;
- предоставление архивных параметров и журналов контроля абонентским рабочим станциям внешних систем для просмотра, документирования и копирования.

1.7 Средства контроля АКНП-И

Для контроля достоверности формируемых АКНП-И сигналов реализованы средства оперативного и периодического контроля. Средства оперативного контроля обеспечивают контроль в процессе штатной эксплуатации – при контроле реакторной установки. Средства периодического контроля обеспечивают контроль работоспособности и локализацию неисправностей при планово-предупредительных и текущих ремонтах. Средства оперативного контроля выполняют контроль работоспособности технических средств в объеме:

- наличия всех блоков (модулей) на рабочих местах;
- правильного подключения внутренних разъемов УНО;
- наличия и нахождения в установленных пределах всех питающих напряжений;
- отсутствия внутренних сигналов неисправности блоков (модулей);
- работоспособности внешних и внутренних интерфейсов;
- исправности цепей (до выходных контактов УНО) сигналов для СУЗ;
- зависаний микропрограмм (по счетчикам Watchdog);
- работоспособности блоков задания уставок;
- обменов через интерфейсы внутрисистемных обменов;
- контрольной суммы пакетов микропрограмм блоков и устройств;
- корректности задаваемой уставки;
- наличия сигналов уровня нейтронного потока на выходах УД СКП, пускового и рабочего диапазонов;
- работоспособности УД по не превышению частоты (при частотном сигнале) или верхнего предела токового значения (при токовом сигнале).

Средства периодического контроля обеспечивают:

- полуавтоматический и ручной режимы проверки управляющих и информационных функций с использованием встроенных эталонных источников произвольного и экспоненциально нарастающего (с заданным периодом) сигнала с фиксацией полученных результатов;
- автоматический контроль работоспособности путем прогона контрольных задач;

- метрологическую калибровку каналов контроля нейтронного потока.

1.8 Состав программного обеспечения

Программное обеспечение (ПО) АКНП-И включает следующие независимые компоненты:

- комплект программ устройства накопления и обработки УНО;
- комплект программ устройства ввода уставок УВУ;
- комплект программ дисплея функционального ДФ;
- комплект программ индикатора символьного ИнС;
- комплект программ сигнализатора оптико-акустический СОА;
- комплект программ устройства технического обслуживания УТО;
- комплект программ метрологического обеспечения МО УНО.

ПО УНО, УТО, УВУ, ДФ, ИнС, СОА реализуется в виде микропрограмм на языке Assembler и устанавливается в ПЗУ (flash-память) при изготовлении технических средств автоматизации (ТСА).

ПО УНО и УВУ относится к ПО ТСА класса безопасности 2. Остальное ПО относится к ПО ТСА класса безопасности 3.

По степени апробированности ПО относится к категории впервые разработанного.

ПО АКНП-И является достаточным для выполнения всех функций технических условий (ТУ) на АКНП-И.

ПО АКНП-И имеет модульную структуру. Текст одного модуля содержит ограниченное количество операторов, имеет ясную структуру, является легко модифицируемым и тестируемым.

В микропрограммах УНО и УВУ (класс безопасности 2) ограничено использование прерываний. Прерывания не используются при формировании сигналов АЗТ (аварийная защита по периоду), АЗР (аварийная защита по мощности), РЕВЕРС (аварийная защита системы контроля перегрузки).

ПО УТО представляет собой комплекс программных средств, обеспечивающих ввод данных от УНО, отображение, просмотр и анализ контролируемых и проверяемых параметров (функций, сигналов). Отображаемые переменные сгруппированы с учетом их функционального назначения в отдельные наборы – кадры. Переход к требуемому режиму или функции осуществляется с помощью кнопок меню и/или дополнительных кнопок (окон) функций в каждом кадре. Выбор параметров в функции осуществляется с помощью кнопок (окон) параметров в каждом кадре.

Комплект программ метрологического обеспечения (МО) УНО обеспечивает контроль метрологических характеристик при метрологической аттестации и калибровке:

- встроенного имитатора частотных сигналов;

- каналов контроля относительной физической мощности, скорости (периода) ее изменения и реактивности;
- каналов формирования выходных аналоговых сигналов.

ПО АКНП-И обеспечивает самодиагностирование (самоконтроль) программных средств:

- контроль допустимости аргументов и результатов промежуточных и окончательных вычислений;
- контроль длительности циклов вычислений;
- контроль целостности программного кода;
- контроль появления запрещенных ситуаций.

Микропрограммы обеспечивают оперативный автоматический контроль технического состояния ТСА:

- контроль номиналов источников электропитания;
- контроль температуры в шкафу УНО и корпусах УНО, УВУ, ДФ, ИнС, СОА;
- контроль закрытого состояния дверей шкафа УНО;
- контроль выходных аналоговых каналов УНО;
- контроль выходных дискретных каналов УНО;
- контроль работоспособности линий связи между ТСА.

Микропрограммы обеспечивают возможность проведения неоперативных проверок (опробования) функций ТСА в режиме «ПРОВЕРКА».

ПО УТО обеспечивает контроль и предоставление информации о техническом состоянии и неисправностях УНО персоналу АЭС. При этом обеспечивается выполнение следующих функций:

- отображение на экране состояний входных (от УД) и выходных (в СУЗ и СВРК) сигналов УНО, результатов контроля номиналов источников электропитания и температуры внутри корпусов УНО, ДФ, ИнС, УВУ, СОА в режимах штатного функционирования АКНП-И и «ПРОВЕРКА»;
- ведение протокола сбоев и отказов;
- формирование и передача информации для архива результатов контроля, параметров и событий в сервер архивирования;
- неоперативный контроль работоспособности и технического состояния УНО, ДФ, ИнС, УВУ, СОА в процессе изготовления, испытаний и технического обслуживания.

ПО УТО обеспечивает неоперативный контроль работоспособности и технического состояния канала АКНП-И в процессе изготовления, испытаний и технического обслуживания при эксплуатации. Контроль работоспособности и технического состояния при эксплуатации выполняется после вывода канала из рабочего режима.

Контроль обеспечивает проверку как отдельных функций канала АКНП-И, так и комплексную проверку АКНП-И путем использования контрольных задач. При этом проводятся проверки:

- при фиксированном значении заданной мощности;
- при фиксированном значении заданной скорости изменения относительной физической мощности (периода);
- при фиксированном значении заданной реактивности;
- при формировании сигналов аварийной и предупредительной защиты для всех значений уставок мощности и периода;
- для устройств детектирования.

Микропрограммы УНО предусматривают защиту от отказов технических средств путем формирования сигнала «Неисправность» в случае выявления неработоспособности технического состояния ТСА средствами автоматического контроля.

Микропрограммы осуществляют контроль достоверности и защиту от искажений входной информации:

- от УД – контроль принадлежности значений допустимым диапазонам;
- от УВУ – контроль регулярности поступления входных данных и отсутствия недопустимых скачков их значений;
- для входных данных, получаемых через последовательные линии связи, – контроль целостности принимаемых пакетов данных (формат пакета, контрольная сумма пакета).

Микропрограммы УВУ и УНО обеспечивают защиту от ошибок персонала:

- контроль допустимости вводимых оператором данных (уставок мощности, тарифовки относительной физической мощности) на соответствие значений допустимому диапазону, соответствие текущему режиму работы;
- путем индикации набираемой уставки без ее изменения в УНО.

Микропрограммы УНО обеспечивают защиту от несанкционированного доступа путем сигнализации об открытии двери шкафа УНО.

При разработке ПО АКНП-И обеспечено его соответствие установленным критериям качества (надежность, корректность, модифицируемость, удобство применения). Все стадии процесса разработки ПО АКНП-И были подробно документированы. Эксплуатационная документация содержит все необходимые сведения для использования ПО.

Перед началом верификации были разработаны планы верификации ПО АКНП-И. Результаты верификации отражены в отчетах по верификации ПО АКНП-И.

2 АНАЛИЗ СООТВЕТСТВИЯ АКНП-И ТРЕБОВАНИЯМ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ ПО БЕЗОПАСНОСТИ

В процессе разработки и апробации системы АКНП-И проводился анализ и оценка соответствия этой системы требованиям нормативных документов

по безопасности для использования ее на АЭС Украины.

Для достижения указанной цели были решены следующие задачи:

- анализ соответствия АКНП-И требованиям нормативных документов Украины [1-4];
- анализ соответствия АКНП-И требованиям INSAG-12 [5];
- анализ соответствия АКНП-И требованиям IAEA NS-G-1.3 [6];
- анализ соответствия ПО АКНП-И требованиям нормативных документов Украины.

Процедура анализа и оценки выполнения основных требований по безопасности включала следующее:

- составление перечня требований по ядерной и радиационной безопасности (ЯРБ) согласно соответствующим нормативным документам, которым должна соответствовать АКНП-И;
- последовательный просмотр и анализ соответствия проектно-конструкторской, программной и эксплуатационной документации для подтверждения соответствия требований по ЯРБ;
- анализ результатов верификации, валидации системы на предмет подтверждения требований по ЯРБ.

Отметим, что особое внимание уделялось апробации программного обеспечения АКНП-И.

2.1 Анализ соответствия АКНП-И требованиям НП 306.5.02/3.035-2000

Анализ соответствия АКНП-И требованиям НП 306.5.02/3.035-2000 проводился для следующих документов:

- технических условий на АКНП-И (ТУ) [7];
- программы и методики приемочных испытаний на площадке изготовителя (ПМИ);
- проектной оценки показателей надежности (ПОН);
- плана и отчета по валидации АКНП-И;
- планов и отчетов по верификации программного обеспечения;
- программы предварительных испытаний (ППИ) на блоке №4 ЗАЭС для РЩУ;
- программы опытной эксплуатации (ПОЭ) РЩУ на блоке №4 ЗАЭС.

Перечень разработанных и рассмотренных документов удовлетворяет требованиям ГНД 306.7.02/2.041-2000 [3], где установлен перечень документов, обосновывающих безопасность информационных и управляющих систем (ИУС).

В табл. 2 в качестве примера приведены результаты анализа ТУ. Табл. 2 построена следующим образом. В первом столбце таблицы указано сокращенное наименование требований по ЯРБ, устанавливаемых согласно НП 306.5.02/3.035-2000. Во втором столбце указаны соответствующие номера пунктов этого документа. В третьем столбце указаны номера пунктов анализируемого документа, в которых рассмотрены соответствующие

требования по ЯРБ. В четвертом столбце указаны номера пунктов из экспертного заключения (ЭЗ) ГНТЦ ЯРБ № 03-09-2056/1 по документу «Аппаратура контроля нейтронного потока АНКП-И. Технические условия». В пятом столбце знаком + или +/- отмечена оценка удовлетворения или не полного удовлетворения соответствующего требования. Как видно из табл. 2, ТУ соответствуют всем требованиям ЯРБ.

Аналогичные проверки были проведены по всем указанным выше документам. В случае выявления каких-либо несоответствий требованиям

НП 306.5.02/3.035-2000 несоответствия устранялись в установленном порядке.

2.2 Анализ соответствия АНКП-И требованиям INSAG-12

Результаты анализа соответствия документации на АНКП-И требованиям INSAG-12 [5] приведены в табл. 3. Анализ результатов, приведенный в табл. 3, показывает, что в документации на АНКП-И достаточно полно отражены критерии безопасности, устанавливаемые документом МАГАТЭ INSAG-12.

Таблица 2 Соответствие технических условий (ТУ) на АНКП-И требованиям НП 306.5.02/3.035-2000

| Наименование требования | НП 306.5.02/3.035-2000 | ТУ | ЭЗ на ТУ | Выполнение требования |
|--------------------------------------|------------------------|-------------------|------------------|-----------------------|
| Класс безопасности | 3.1.3; 3.1.5 | 1.6,1.7 | 4.3.1.2 | + |
| Категория сейсмостойкости | 3.1.6 | 1.9.3 | 4.3.1.7.3 | + |
| К функциям | 4.2 | Табл.11, 1.6, 1.7 | 4.3.1.3, 4.3.1.4 | + |
| Принцип единичного отказа | 4.3 | 1.4.1÷ 1.4.5 | 4.3 | + |
| Принцип резервирования | 4.4 | 1.4.1÷ 1.4.5 | 4.3 | + |
| Принцип независимости | 4.5 | 1.4.1÷ 1.4.5 | 4.3 | + |
| К защите от отказов по общей причине | 4.7 | 1.6.6 | 4.3 | + |
| К точности | 4.8 | 1.6.2 | 4.3.1.5 | + |
| К временным характеристикам | 4.9 | 1.6.3 | 4.3 | + |
| По надежности | 4.10 | 1.6.4.8 | 4.3.1.7 | + |
| К интерфейсу "человек-машина" | 4.11 | 1.12 | 4.3.1.6 | + |
| К предотвращению ошибок персонала | 4.12 | 1.6.6.2 | 4.3 | + |
| Несанкционированный доступ | 4.13 | 1.6.5 | 4.3.1.13 | + |
| К параметрам электропитания | 4.15 | 1.10 | 4.3.1.10 | + |
| К техническому диагностированию | 4.16 | 1.12.6 | 4.3.1.11 | + |
| К апробации | 4.17 | 4.6 | 4.2.6 | + |
| К качеству | 4.18 | 1.15 | 4.3.1.12 | + |
| К испытаниям и приемке | 4.19 | Раз 4 | 4.3.2.2 | + |
| К воздействию окружающей среды | 5.2 | 1.9.1 | 4.3.1.7 | + |
| К механическим воздействиям | 5.3 | 1.9.3 | 4.3.1.7.3 | + |
| К электрической изоляции | 5.8 | 1.10 | 4.3.1.13.8 | + |
| К электромагнитной совместимости | 5.9 | 1.9.4 | 4.3.1.7.4 | + |
| К ПО | 6.2-6.6 | 4.13.3 | 4.3.2.5 | + |
| К пожарной безопасности | 5.13 | 2.5 | | + |
| К покупным изделиям | - | 1.15 | 4.3.1.12 | + |

Таблица 3 Соответствие документации на АНКП-И требованиям INSAG-12

| Наименование требования | № пункта | ТУ | ПМИ | Верификация | Валидация | ППИ | ПОЭ | ПОН |
|---------------------------------------|----------|----|-----|-------------|-----------|-----|-----|-----|
| Резервирование | 4.22 | + | + | | + | | | |
| Оценка надежности | 4.32 | + | | + | | | | + |
| Независимость | 4.35 | | + | | + | | | |
| Управление доступом к оборудованию | 4.51 | + | + | | + | + | + | |
| Уставки | 4.54 | + | + | | + | + | + | |
| Человеко-машинный интерфейс | 4.61 | + | | | + | | + | |
| Качество | 4.74 | + | | | | | + | |
| Проект электромагнитной совместимости | 4.77 | + | | | | | | |
| Тестирование и тестируемость | 4.79 | + | + | + | + | | | |
| Обнаружение отказов | 4.88 | + | + | | + | | + | |
| Демонстрация работы системы | 4.90 | + | + | | + | + | + | |

Таблица 4 Соответствие анализируемых документов на АКНП-И требованиям NS-G-1.3

| Наименование требования | № пункта | ТУ | ПМИ | Верификация | Валидация | ППИ | ПОЭ | ПОН |
|---------------------------------------|----------|----|-----|-------------|-----------|-----|-----|-----|
| Резервирование | 4.22 | + | + | | + | | | |
| Оценка надежности | 4.32 | + | | + | | | | + |
| Независимость | 4.35 | | + | | + | | | |
| Управление доступом к оборудованию | 4.51 | + | + | | + | + | + | |
| Уставки | 4.54 | + | + | | + | + | + | |
| Человеко-машинный интерфейс | 4.61 | + | | | + | | + | |
| Качество | 4.74 | + | | | | | + | |
| Проект электромагнитной совместимости | 4.77 | + | | | | | | |
| Тестирование и тестируемость | 4.79 | + | + | + | + | | | |
| Обнаружение отказов | 4.88 | + | + | | + | | + | |
| Демонстрация работы системы | 4.90 | + | + | | + | + | + | |

2.3 Анализ соответствия АКНП-И требованиям NS-G-1.3

Результаты анализа соответствия документации на АКНП-И требованиям NS-G-1.3 [6] АКНП-И приведены в табл. 4. Анализ результатов, приведенный в табл. 4, показывает, что в документации на АКНП-И достаточно полно отражены критерии безопасности, устанавливаемые документом МАГАТЭ NS-G-1.3

2.4 Анализ соответствия безопасности программного обеспечения требованиям НП 306.5.02/3.035-2000 и ГНД306.7.02/2.041-2000

Анализ соответствия ПО проводился путем анализа соответствия документов по верификации ПО АКНП-И требованиям по ЯРБ, регламентированным в НП 306.5.02/3.035-2000 [2], включая установленные критерии документированности, доступности, полноты, независимости и успешности, регламентированные в ГНД 306.7.02/2.041-2000 [4]. Такая оценка была проведена экспертами ГНТЦ ЯРБ при выполнении экспертизы документов по верификации ПО АКНП-И. Результаты экспертных оценок отражены в «Отчете о выполнении государственной экспертизы документа “Аппаратура контроля нейтронного потока АКНП-И. Программное обеспечение. Планы верификации”», № 04-09-3081/2 и в «Отчете о выполнении государственной экспертизы документа “Аппаратура контроля нейтронного потока АКНП-И. Программное обеспечение. Верификация (оценка результатов верификации)”», № 04-09-3081/3.

В табл. 5 установлено соответствие между составными частями ПО АКНП-И, планами и отчетами по верификации, а также приведен класс безопасности и классификационное обозначение ПО в соответствии с НП 306.1.02/1.034-2000 [1]. Результаты анализа показывают, что верификация проводилась для всех компонентов ПО АКНП-И.

Оценка по критерию документированности
В планах верификации ПО АКНП-И

отражены:

- объект и цель верификации;
- исходные документы;
- стратегия верификации;
- порядок проведения верификации;
- методы и средства, используемые в процессе верификации;
- порядок документирования действий по верификации;
- порядок оценки результатов верификации;
- программа и мероприятия по верификации.

В отчетах по верификации ПО АКНП-И отражены:

- результаты испытаний ПО и их оценки;
- недостатки, которые выявлены при испытаниях;
- выводы по результатам анализа и меры по устранению недостатков.

Перечни входных и выходных сигналов при испытании ПО отражены в программах и методиках верификации (см. табл. 5). Таким образом, требования по критерию документированности выполнены.

Оценка по критерию доступности

Планы и отчеты по верификации ПО АКНП-И представлены в форме, понятной для специалистов, не принимавших участия в процессе разработки ПО. Таким образом, требования по критерию доступности выполнены.

Оценка по критерию полноты

Верификации ПО АКНП-И предусматривала следующую последовательность этапов:

- верификация требований к ПО;
- верификация проектирования ПО;
- верификация кодирования ПО;
- анализ и оценка результатов верификации ПО.

На этапе верификации требований к ПО проводились:

- анализ соответствия требований к ПО требованиям, указанным в ТУ;
- анализ соответствия ПО функциональным требованиям;

Таблица 5 Планы и отчеты по верификации ПО АКНП-И

| Наименование компонента ПО | Обозначение | Наименование плана верификации компонента ПО | Программы и методики верификации ПО | Наименование отчета по верификации компонента ПО |
|----------------------------|-------------|--|--|---|
| Комплект программ УНО | 2У | Комплект программ УНО-1. План верификации 0229767.00331-01 ПВ | Комплект программ УНО-1. Программа и методика верификации 0229767.00331-01 ПМВ | Комплект программ УНО-1. Отчет по верификации ПО 0229767.00331-01 ОВ 03 |
| Комплект программ УВУ | 2У | Программное обеспечение УВУ-1. План верификации ИТКЯ.468313.016 ПВ | Программное обеспечение УВУ-1. Программа и методика верификации ПО ИТКЯ.468313.016 ПМВ; | Программное обеспечение УВУ-1. Отчет по верификации ПО ИТКЯ.468313.016 ОВ |
| Комплект программ ДФ | 3Н | Программное обеспечение ДФ-1. План верификации ИТКЯ.468313.020 ПВ | Программное обеспечение ДФ-1. Программа и методика верификации ПО ИТКЯ.468313.020 ПМВ | Программное обеспечение ДФ-1. Оценка результатов верификации ПО ДФ-1 |
| Комплект программ ИнС | 3Н | Программное обеспечение ИнС-1. План верификации ИТКЯ.468313.017 ПВ | Программное обеспечение ИнС-1. Программа и методика верификации ПО ИТКЯ.468313.017 ПМВ | Программное обеспечение ИнС-1. Оценка результатов верификации ПО ИнС-1 |
| Комплект программ СОА | 3Н | Программное обеспечение СОА-1. План верификации ИТКЯ.468232.007 ПВ | Программное обеспечение СОА-1. Программа и методика верификации ПО ИТКЯ.468232.007 ПМВ | Программное обеспечение СОА-1. Оценка результатов верификации ПО СОА-1 |
| Комплект программ УТО | 3Н | Комплект программ УТО-1. План верификации 0229767.00310-ПВ | Программное обеспечение УТО. Подпрограммы выполнения операций метрологии. Программа и методика верификации 0229767.00310-01 ПМВ 01; Программное обеспечение УТО. Подпрограммы операций конфигурирования. Программа и методика верификации 0229767.00310-01 ПМВ 02; Программное обеспечение УТО АКНП. Программа и методика верификации программного обеспечения УТО 0229767.00310 ПМВ3; | Программное обеспечение УТО АКНП. Оценка результатов верификации ПО УТО АКНП |
| Комплект программ МО УНО | 3Н | Комплект программ метрологического обеспечения УНО-1. План верификации 0229767.00336-01 ПВ | Комплект программ метрологического обеспечения УНО-1. Программа и методика верификации 0229767.00336-01 ПМВ. | Комплект программ метрологического обеспечения УНО-1. Оценка результатов верификации КПМО |

- анализ соответствия ПО требованиям по ЯРБ (требованиям к структуре и элементам ПО; требованиям к диагностированию и самоконтролю; требованиям к обеспечению защиты от отказов, искажений, ошибочных и несанкционированных действий; требованиям к процессу разработки ПО).

На этапе верификации проектирования ПО проводились:

- анализ соответствия алгоритмов ПО функциональным требованиям с точки зрения непротиворечивости и полноты;
- анализ комплектности и достаточности алгоритмов по обеспечению диагностирования, самодиагностирования, защиты от искажений

передаваемой и принимаемой информации, защиты от ошибочных действий персонала;

- анализ доступности (читабельности) алгоритмов для групп разработчиков и верификации.

На этапе верификации кодирования ПО проводились:

- тестовые проверки ПО на предмет обеспечения в полном объеме выполняемых функций;
- тестовые проверки ПО на предмет обеспечения диагностирования, самодиагностирования, защиты от искажений передаваемой и принимаемой информации, защиты от ошибочных действий персонала;
- тестовые проверки ПО в ходе комплексных испытаний АКНП-И.

Таким образом, требования по критерию полноты выполнены.

Оценка по критерию независимости

В планах и отчетах по верификации ПО АКНП-И указано, что верификацию проводят разработчики ПО, а независимый обзор и оценка результатов верификации должны быть выполнены другими специалистами. Такая степень независимости достаточна для ПО ТСА класса безопасности 3. Однако для ПО УНО и УВУ, которые относятся к ТСА класса безопасности 2, верификация, обзор и оценка результатов верификации должны проводиться группой специалистов или организацией, административно и/или финансово независимых от специалистов и организации, разрабатывающих ПО.

Выполнение требований по критерию независимости было обеспечено в ходе валидации ПО АКНП-И, которая проводилась независимой организацией ООО «Гандетрон» (г. Киев). Таким образом, требования по критерию независимости выполнены.

Оценка по критерию успешности

В планах верификации ПО АКНП-И предусмотрены необходимые мероприятия по обнаружению, документированию, анализу и устранению ошибок и недостатков, выявленных в ходе верификации.

В отчетах по верификации ПО АКНП-И отражена оценка выполнения результатов всех испытаний ПО и произведена оценка результатов верификации в целом. В приложениях к отчетам по верификации ПО АКНП-И зафиксированы и проанализированы недостатки, выявленные в ходе верификации, а также отражены результаты устранения недостатков. Таким образом, требования по критерию успешности выполнены.

В результаты проведенных экспертных оценок было установлено, что представленные планы и отчеты по верификации ПО АКНП-И соответствуют требованиям по ЯРБ, регламентированным в НП 306.5.02/3.035-2000, и критериям документированности, доступности, полноты, независимости и успешности, регламентированным в ГНД 306.7.02/2.041-2000.

3 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ АКНП-И

Система АКНП-И подвергалась различным видам испытаний, проводимым разными организациями в разных местах:

- предварительные испытания на площадке изготовителя;
- приемочные испытания на площадке изготовителя;
- апробация канала АКНП-И на энергоблоке №1 ЗАЭС;
- этап опытной эксплуатации АКНП-И (комплект РЩУ) на энергоблоке № 4 ЗАЭС

3.1 Предварительные испытания АКНП-И на площадке изготовителя

В период с 12.06.2003 г. по 11.08.2003 г. на заводе ЗАО «СНПО «Импульс»» проведены предварительные испытания АКНП-И, подтвержденные соответствующим Актом. Выводы комиссии по предварительным испытаниям: АКНП-И предварительные испытания выдержала и соответствует требованиям технических условий ТУ, опытный образец пригоден для предъявления на приемочные испытания, о чем свидетельствуют соответствующие протоколы испытаний.

В акте и протоколах предварительных испытаний замечания комиссии отсутствуют.

АКНП-И прошла государственную метрологическую аттестацию, что подтверждают соответствующие свидетельства. В соответствии со свидетельством, выданным Харьковским государственным НИИ метрологии (ХГНИИМ) АКНП-И прошла государственную метрологическую аттестацию по непрямым измерениям мощности, реактивности и периода реакторной установки ВВЭР-1000 в режиме реального времени путем прямых измерений плотности потока тепловых нейтронов. Вывод ХГНИИМ: по результатам государственной метрологической аттестации АКНП-И признана такой, что отвечает требованиям ТЗ на ПТК АКНП-И и ГОСТ 27445-87 [3]. Там же АКНП-И прошла проверку уровня собственного фона на устройствах детектирования, времени работы и нестабильности показаний при измерении плотности потока нейтронов, проверку чувствительности при изменении плотности потока нейтронов, проверку предела допустимой относительной погрешности изменения плотности потока нейтронов при изменении температуры окружающей среды, проверку вибрационной прочности устройств детектирования нейтронного потока. Замечания по всем испытаниям отсутствуют.

3.2 Приемочные испытания АКНП-И на площадке изготовителя

В соответствии с распоряжением НАЭК «Энергоатом» проведены приемочные испытания АКНП-И, о чем свидетельствует Акт приемочных испытаний. В состав комиссии входили представители ОП ЗАЭС, компании НАЭК «Энергоатом», Госцентр качества, ГНТЦ ЯРБ, ХГНИИМ, МНТЦ «Укрытие».

Специалисты ГНТЦ ЯРБ проводили экспертизу программы и методики приемочных испытаний ПТК АКНП-И. Результаты экспертных оценок отражены в «Отчетах о выполнении государственной экспертизы документа “Аппаратура контроля нейтронного потока АКНП-И. Программа и методика приемочных испытаний” ИТКЯ, 20.300 ПМ», № 03-09-2021 и № 03-09-2056/2.

Комиссия сочла возможным зачесть результаты предварительных испытаний, констатировала полноту представленного на испытания оборудования и документации. В

соответствии со справкой "О доработке аппаратных, программных средств и документации аппаратуры контроля нейтронного потока АКНП-И по замечаниям и рекомендациям комиссии по проведению приемочных испытаний", представленной «СНПО "Импульс"», все замечания комиссии по проведению приемочных испытаний устранены.

Выводы комиссии: АКНП-И приемочные испытания выдержала и соответствует требованиям проекта технических условий ТУ, нормативным документам (ДСТУ, ГОСТ и др.) распространяющимся на данный класс изделия, а также нормативным документам по ядерной и радиационной безопасности и рекомендована к производству, как серийно повторяющаяся продукция.

3.3 Апробация канала АКНП-И на энергоблоке №1 ЗАЭС

Апробация канала АКНП-И заключалась в его опытной эксплуатации в телеметрическом режиме в рабочем и пусковом диапазонах на блоке №1 ЗАЭС и составила 2,5 месяца. При апробации канала АКНП-И исключено любое его влияние на работу основного штатного оборудования АКНП-7-02.

В процессе работы канала ПТК АКНП выполнены:

- статические и динамические проверки работы в рабочем диапазоне;
- статические и динамические проверки работы в пусковом диапазоне;
- проверка стабильности уставок при переходных процессах;
- проверка устройств детектирования;
- проверка в режиме контроля мощности и периода РУ в энергетическом диапазоне;
- проверка в режиме сброса и набора мощности.

Результаты сравнения диаграмм показывают, что значения по нейтронной мощности и периоду, зафиксированные АКНП-И и АКНП-7-02, практически полностью совпадают во всех точках. Расхождение не превышает 0,5%.

Выводы по результатам проведенных испытаний:

- испытания по первому этапу апробации в телеметрическом режиме выполнены в полном объеме;
- результаты испытаний первого этапа апробации следует считать успешными;
- замечания по каналу АКНП-И и его ПО, выявленные в процессе апробации, направлены для устранения ЗАО "СНПО «Импульс»" и должны быть устранены до испытаний комплекта РЩУ для блока № 4 ЗАЭС;
- за период апробации отказы технических средств канала ПТК АКНП-И отсутствуют.

3.4 Этап опытной эксплуатации АКНП-И (комплект РЩУ) на энергоблоке № 4 ЗАЭС

Опытная эксплуатация АКНП-И (для РЩУ) в соответствии с разработанной программой выполняется в два этапа:

- на 1-м этапе проводится опытная эксплуатация трех каналов рабочего и пускового диапазонов комплекта РЩУ на всех уровнях мощности РУ во всех режимах эксплуатации;
- на 2-м этапе проводится опытная эксплуатация трех каналов системы контроля перегрузки (СКП) топлива в период перегрузки топлива энергоблока № 4 в ППР-2004÷2005 г.

Специалисты ГНТЦ ЯРБ провели экспертизу программы опытной эксплуатации ПТК АКНП-И. Результаты экспертных оценок отражены в «Отчетах о выполнении государственной экспертизы документов "ПТК системы автоматического контроля нейтронного потока для РЩУ. Программа предпусковых (приемочных) испытаний" для энергоблока №4 ЗАЭС», № 04-09-3081/5 и "Программа опытной эксплуатации ПТК АКНП комплекта РЩУ энергоблока №4 оп ЗАЭС", № 04-09-3105.

Целью проведения работ по опытной эксплуатации являлась проверка правильности функционирования аппаратуры АКНП-И (комплект РЩУ), рабочего и пускового диапазонов, по всему диапазону нейтронной мощности РУ от реального нейтронного потока; определение действительных значений технических характеристик оборудования АКНП-И; проверка его технических и метрологических характеристик на соответствие техническим требованиям, изложенным в ТУ; подтверждение готовности персонала к работе с новым оборудованием во всех режимах его работы.

При эксплуатации АКНП-И (РЩУ) исключено любое влияние его на работу основного штатного оборудования АКНП-3, основных комплектов СУЗ. Оборудование АКНП-И комплекта РЩУ не выдает управляющих сигналов в смежные системы и не оказывает влияния на работу РУ.

Результаты испытаний системы приведены в соответствующем отчете. Работы по контролю технических характеристик АКНП-И (комплекта РЩУ) заключались в их периодической проверке при опытной эксплуатации. При этом все параметры по нейтронной мощности и периоду ее изменения фиксировались и архивировались на регистраторах "SIREC" для последующего анализа и сравнения полученных результатов с аналогичными параметрами, зарегистрированными штатной аппаратурой основных комплектов АКНП-3.

С целью контроля работоспособности технических средств АКНП-И периодически, один раз в смену, производился технический осмотр оборудования.

Проводилась ежемесячная проверка технического состояния и проверка работоспособности технических средств АКНП-И (комплексные испытания) путем включения в режимах «Работа», «Проверка» следующих контрольных задач и тестов УНО.

- функционирования измерительного канала (ИК) в рабочем диапазоне;
- функционирования ИК в пусковом диапазоне;
- функционирования ИК в диапазоне СКП;
- контроля работоспособности устройств отображения РЩУ;
- контроля характеристик АКНП-И поочередно для каждой из стоек УНО;
- контроля метрологических характеристик ИК.

Выводы по результатам опытной эксплуатации и проверки технического состояния и работоспособности технических средств АКНП-И:

- при анализе полученных данных (путем сравнения с данными от АКНП-3) подтверждена правильность функционирования оборудования АКНП-И от реальных входных сигналов;
- подтверждены количественные и качественные характеристики технических средств АКНП-И при проведенных проверках ИК;
- подтверждена надежность примененных основных схемно-технических и конструкторских решений, надежность примененной элементной базы и компонентов оборудования АКНП-И;
- установлено соответствие метрологических характеристик электрических трактов измерительных каналов требованиям, изложенным в ТУ;
- система АКНП-И и персонал готовы к продолжению опытной эксплуатации (в том числе и работе в режиме РУ «Останов для перегрузки»).

4 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка новой системы АКНП-И проведена с целью повышения безопасности и надежности энергоблоков АЭС, что обеспечено за счет:

- исключения отступлений от требований документов, регламентирующих безопасность АЭС;

- применения технических средств на основе микропроцессорной техники, освоенных в производстве и подтвердивших свои высокие качества в процессе различных видов испытаний;
- повышения надежности работы системы, ее технических средств и программного обеспечения;
- применения неперемещаемых блоков детектирования;
- включение функций реактиметра с устройствами демонстрации, записи и автоматического переключения диапазонов измерения плотности нейтронного потока и реактивности;
- сокращения времени простоя блока в плановых ремонтах и уменьшение числа аварийных остановок вследствие повышения технического уровня оборудования;
- замены морально и физически устаревших технических средств;
- обеспечения срока службы комплекса в соответствии с оставшимся сроком эксплуатации энергоблоков, но не менее 30 лет.

Литература

1. НП 306.1.02/1.034 – 2000. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций.
2. НП 306.5.02/3.035-2000. Нормы и правила по ядерной и радиационной безопасности. Требования по ядерной и радиационной безопасности к информационным и управляющим системам, важным для безопасности атомных станций.
3. ГОСТ 27445-87. Системы контроля нейтронного потока для управления и защиты ядерных реакторов.
4. ГНД 306.7.02/2.041-2000. Методика соответствия информационных и управляющих систем, важных для безопасности атомных станций, требованиям по ядерной и радиационной безопасности.
5. INSAG-12. Basic safety principles for nuclear power plants. 75 INSAG-3 Rev.1.
6. IAEA NS-G-1.3. Instrumentation and Control Systems Important to Safety in Nuclear Power Plants. Safety Guide.
7. Аппаратура контроля нейтронного потока АКНП-И. Технические условия. ТУ У 30.0-31393258-010-2003 А.– Северодонецк: ЗАО «СНПО "Импульс"», 2003.

В.В.Єлісєєв, Г.Ю.Пивоваров, О.С.Набатов, С.О.Мошинський, В.В.Скляр, Л.І.Спектор

**СИСТЕМА КОНТРОЛЮ НЕЙТРОННОГО ПОТОКУ
ДЛЯ РЕАКТОРІВ ВВЕР-1000: ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ОЦІНКА БЕЗПЕКИ**

Стаття присвячена системі контролю нейтронного потоку АКНП-І. У статті відображено наступні питання:

- загальні відомості про систему;*
- аналіз відповідності системи вимогам з безпеки;*
- аналіз результатів випробувань системи.*

V.Yeliseev, G.Pivovarov, A.Nabatov, S.Moshinsky, V.Sklyar, L.Spektor

**NEUTRON FLUX MONITORING SYSTEM
FOR REACTORS WWER-1000: SAFETY ASSURANCE AND ASSESSMENT**

A paper is devoted to neutron flow control system AKNP-I. The next points is reflected in the paper:

- a general information about the system;*
- an analysis of the system compliance with safety requirements;*
- an analysis of results of the system tests.*