

# ЯДЕРНАЯ И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ



1 ' 2007

УДК 621.039.058

В.В.Елисеев<sup>1)</sup>, Г.Ю.Пивоваров<sup>1)</sup>, А.С.Набатов<sup>1)</sup>, В.А.Устимов<sup>1)</sup>,  
В.В.Скляр<sup>2)</sup>, Л.И.Спектор<sup>2)</sup>, С.А.Мошинский<sup>2)</sup>

## СИСТЕМА КОНТРОЛЯ НЕЙТРОННОГО ПОТОКА АКНП-ИФ: ОСОБЕННОСТИ, ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ

<sup>1)</sup> ЗАО Северодонецкое научно-производственное объединение «Импульс»

<sup>2)</sup> Государственный научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности

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

- общие сведения о системе;
- анализ соответствия системы требованиям по безопасности;
- анализ результатов испытаний системы;
- состав и свойства программного обеспечения системы.

### 1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМЕ

Система контроля нейтронного потока (АКНП) совместно с системой аварийной защиты (АЗ) выполняет функции второго уровня глубокоэшелонированной защиты реакторной установки по нейтронно-физическим параметрам и является составной частью системы управления и защиты (СУЗ) реактора. ЗАО «СНПО “Импульс”» в 2003 году разработана система контроля нейтронного потока (АКНП-И) для замены аналогичных систем (АКНП-3, АКНП-7) и их технических средств, выработавших срок службы, а также для применения на вновь вводимых энергоблоках АЭС с реакторами типа ВВЭР-1000. Описание этой системы и оценка ее безопасности приведено в [1].

Опыт эксплуатации АКНП-И на энергоблоках АЭС Украины с 2004 года показал, что она успешно выполняет все возложенные на нее функции в составе СУЗ. В тоже время был выявлен ряд недостатков, которые вызывают замечания при эксплуатации.

К числу недостатков, которые связаны с использованием в составе АКНП-И устройств детектирования, разработанных еще в 80-х годах прошлого века, относятся:

- использование блоков детектирования двух разных типов (на основе ионизационных камер КНК15 и КНК53М) для контроля плотности потока нейтронов (ППН) в пусковом и рабочем диапазонах вызывает трудности при "сшивке" диапазонов – практически невозможно добиться безударного переключения диапазонов;
- использование в энергетическом диапазоне урановой камеры деления КНК15 приводит к появлению в каналах контроля ППН рабочего диапазона после снижения мощности реактора остаточных показаний, вызванных накоплением

α-активных изотопов;

- низкое значение частоты выходных сигналов устройств детектирования в начале диапазона измерения (от 0,05 Hz) определяет высокую погрешность вычисления частоты и большое время вычисления;
- в некоторых образцах устройств детектирования пускового диапазона наблюдалась заметная потеря линейности в конце диапазона, что вызывало необходимость опускать границу переключения из пускового в рабочий диапазон и, соответственно, увеличивать погрешность вычисления мощности.

В связи с этим, была поставлена задача разработки модификации АКНП-И с использованием устройств детектирования собственной разработки, построенных на основе покупных детекторов нейтронов.

Система контроля нейтронного потока (АКНП-ИФ) разработана ЗАО «СНПО “Импульс”» в 2005 году для замены аналогичной системы АКНП-И для применения на вновь вводимых или модифицируемых энергоблоках АЭС с реакторами типа ВВЭР-1000 и ВВЭР-440.

Основными отличиями АКНП-ИФ от АКНП-И являются:

- использование устройств детектирования потока нейтронов (УДПН-1 и УДПН-2) собственного производства ("Импульс") с цифровым интерфейсом с устройством накопления и обработки (УНО);
- использование вместо регистраторов SIREC DM Siemens (с аналоговыми входными каналами) устройств регистрации и отображения (УРО) на базе панельного компьютера с цифровыми интерфейсами с УНО (RS422) и возможностью выдачи данных из УРО в информационно – вычислительную систему (ИВС) и систему внутриреакторного контроля (СВРК) через

Ethernet; отображение на экране УРО (12") кадра с текущими трендами параметров (мощность, период, реактивность) по выбору оператора;

- контроль при калибровке метрологических характеристик не только УНО, но и нормирующих преобразователей устройств детектирования (имитатор кинетики реактора (ИКР-1) имитирует сигналы от блоков детектирования для различных режимов работы реакторной установки);
- в комплекте для РЦУ вместо трех отдельных стоек УНО используется одна трехканальная стойка УНО с независимыми каналами.

### 1.1 Структурная схема системы

АКНП-ИФ состоит из трех идентичных комплектов технических средств: двух АКНП аварийной и предупредительной защиты (АПЗ), совмещенной с системой контроля перегрузки топлива (СКП), одного АКНП - для резервного щита управления (РЦУ).

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 блочного щита управления (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).

Устройства детектирования обеспечивают преобразование плотности потока тепловых нейтронов в электрические сигналы и формируют гальванически развязанные сигналы для УНО. Устройства детектирования состоят из:

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

УНО принимает сигналы от УД и от устройства ввода уставок; вычисляет текущие значения относительной физической мощности и периода, сравнивает их с уставками; вычисляет реактивность. В УНО формируются выходные сигналы для АПЗ, автоматического регулятора мощности (АРМ), устройства разгрузки и ограничения мощности (РОМ), ускоренной предупредительной защиты (УПЗ), системы внутриреакторного контроля (СВРК), а также устройств отображения на БЩУ и на пульте перегрузочной машины (СКП).

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

Дисплей функциональный (ДФ) представляет значения относительной физической

мощности, периода и реактивности в виде гистограмм, цифровых значений, а также трендов.

Символьный индикатор (ИнС) представляет значения относительной физической мощности и периода в виде цифровых значений.

Устройства ввода уставок для трех каналов контроля, функциональный дисплей и символьный индикатор для каждого канала контроля размещаются на БЩУ.

Оптико-акустический сигнализатор (СОА) выполняет:

а) звуковую сигнализацию уровня нейтронного потока в пусковом диапазоне от 100 до 102  $n\cdot cm^{-2}/s$  (от 0 до 16 imp/s);

б) 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).

Устройство регистрации выполняет архивирование на сменном носителе информации (энергетически независимая Flash-память) текущих значений относительной физической мощности и периода.

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

Комплект АКНП-РЦУ состоит из:

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

Устройства детектирования АКНП-ИФ выполняют контроль нейтронного потока в диапазоне от  $10^{-3}$  до  $1,2 \times 10^{10} n\cdot cm^{-2}/s$ , в том числе:

- при загрузке (перегрузке) активной зоны – от  $10^{-3}$  до  $10^2 n\cdot cm^{-2}/s$ ;
- в пусковом диапазоне – от 1,0 до  $10^6 n\cdot cm^{-2}/s$ ;
- в рабочем диапазоне – от  $10^4$  до  $1,2 \times 10^{10} n\cdot cm^{-2}/s$ .

Все блоки детектирования, включая блоки детектирования для контроля загрузки активной зоны (СКП), 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

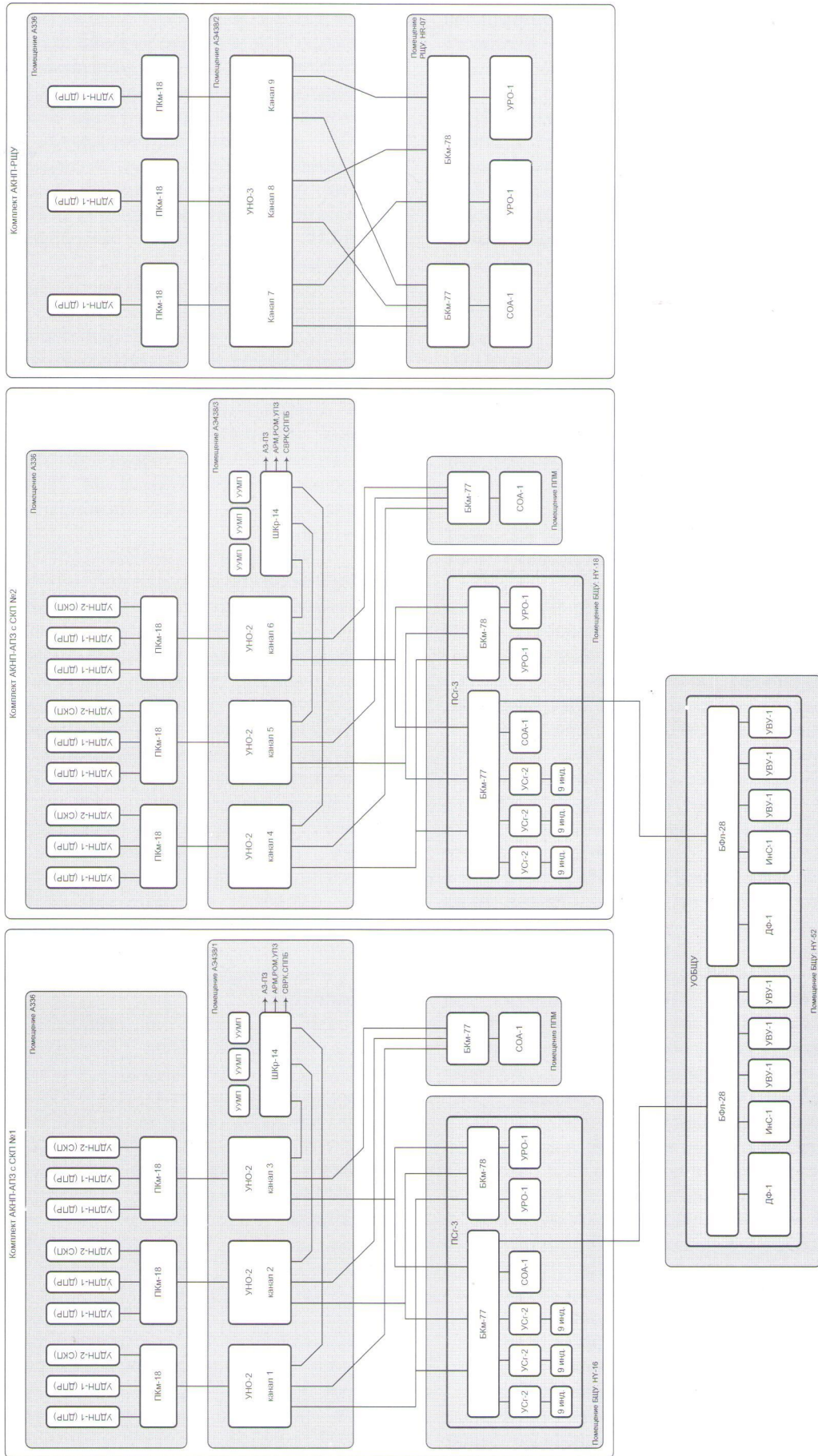


Рис.1 Структурная схема АКНП-ИФ

энергоблока. Средствами СКП рост мощности контролируется от  $10^{-10}$  до  $10^{-5}$  % номинальной мощности реактора, а средствами пускового диапазона – от превышения порога чувствительности УД пускового диапазона.

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-ИФ входят устройства управления механизмами перемещения (УУМП). На лицевой панели устройства помимо ключа управления реализован монохромный дисплей, отображающий перемещение и положение блока детектирования в канале реактора.

Особенности преобразования сигналов УД в значения относительной физической мощности, периода и реактивности состоят в следующем. 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 АКНП-ИФ. 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 флэш памяти позволяет хранить долговременные настройки, постоянные коэффициенты и прочие данные. Рассеиваемая мощность (порядка 150 милливольт 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 контроля относительной физической мощности канала.

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, входящих в состав этого канала. Усредненная реактивность представляется на функциональном дисплее по сигналам от датчиков трех каналов контроля нейтронного потока. Диапазон измеряемых значений реактивности от минус 20 до  $+0,6 \beta_{эфф}$ . Длительность цикла вычисления реактивности не превышает 100 ms.

Реализация аварийных и предупредительных защит состоит в следующем. 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 сохраняются в канале контроля нейтронного потока при запланированном и аварийном отключении питания. После включения питания (либо рестарте) автоматически устанавливаются уставки, введенные до отключения питания.

### 1.2 Каналы контроля ППН пускового и рабочего диапазонов

В пусковом и рабочем диапазонах АКНП-ИФ должна была обеспечивать контроль плотности потока тепловых нейтронов в пределах:

- от 1 до  $1,2 \times 10^9$  n/(cm<sup>2</sup>·s) - для ВВЭР-1000;
- от 1 до  $1,2 \times 10^{10}$  n/(cm<sup>2</sup>·s) - для ВВЭР-440.

В результате рассмотрения нескольких вариантов в качестве детектора нейтронов для устройства детектирования пускового и рабочего диапазонов была выбрана широкодиапазонная камера деления CFUL08/F16 фирмы Photonis (Франция). Эта камера деления охватывает требуемый диапазон контроля ППН. Кроме того, камеры деления этого типа уже успешно использовались на АЭС с реакторами типа ВВЭР-440 Богунце (Словакия) и Пакш (Венгрия) в составе аппаратуры фирмы Siemens. Блок детектирования потока нейтронов на основе камеры деления CFUL08/F16 имеет обозначение БДПН-1.

Камера деления CFUL08 может работать в трех режимах [2]: импульсном, флуктуационном и токовом.

Импульсный режим реализован в диапазоне ППН от 1 до 106 н/(см<sup>2</sup>·с). В этом режиме детектор формирует отдельные зарядовые импульсы, количество которых пропорционально ППН. Номинальная чувствительность камеры деления CFUL08 в импульсном режиме составляет 1 imp·с<sup>-1</sup>/(н·см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>), соответственно, диапазон частоты следования выходных импульсных сигналов в диапазоне ППН – от 1 Hz до 1 MHz.

Флуктуационный режим реализован в диапазоне ППН от 104 до 2×10<sup>9</sup> н/(см<sup>2</sup>·с). В этом режиме детектором формируется так много близко расположенных зарядовых импульсов, что их невозможно разделить на отдельные импульсы. Однако, если их подать на RC-цепочку, то сигнал будет представлен флуктуациями тока, подобными электронному шуму, чей спектр зависит от постоянной времени RC-цепочки. Квадрат полученного флуктуационного тока, согласно теореме Кэмпбелла, пропорционален ППН. Номинальная чувствительность камеры деления CFUL08 во флуктуационном режиме (при использовании RC-цепочки с полосой пропускания от 1 до 35 kHz) составляет 1,4×10<sup>-21</sup> А<sup>2</sup>/(н·см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>), соответственно, диапазон измеряемого флуктуационного тока в диапазоне ППН – от 3,7 нА до 1,7 мА.

Токковый режим реализован в диапазоне ППН от 10<sup>4</sup> до 1,2×10<sup>10</sup> н/(см<sup>2</sup>·с). В этом режиме детектор формирует постоянный ток, величина которого пропорциональна ППН. Номинальная чувствительность камеры деления CFUL08 в токовом режиме составляет 2×10<sup>-13</sup> А/(н·см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>), соответственно, диапазон измеряемого постоянного тока в диапазоне ППН – от 2 нА до 2,4 мА.

Преобразователь сигналов детектора нейтронов (ПСДН-1), разработанный в ЗАО «СНПО "Импульс"» и предназначенный для работы с БДПН-1 обеспечивает:

- формирование напряжения питания (600 V) для БДПН-1;
- усиление, дискриминацию (с регулируемым порогом дискриминации) и подсчет отдельных импульсов, формируемых детектором, в импульсном режиме;
- измерение величины флуктуационного тока во флуктуационном режиме;
- измерение величины постоянного тока в токовом режиме;
- передачу по интерфейсу "токовая петля" полученных значений с циклом 10 ms в УНО для обработки и вычисления мощности, периода и реактивности реакторной установки.

БДПН-1 и ПСДН-1 вместе составляют устройство детектирования потока нейтронов УДПН-1 для контроля ППН в пусковом и рабочем диапазонах АКНП-ИФ. С целью подтверждения

возможности использования УДПН-1 в каналах контроля ППН АКНП-ИФ была выполнена апробация опытного образца на энергоблоке №3 Запорожской АЭС. Результаты апробации приводятся ниже.

### **1.3 Каналы контроля ППН для системы контроля перегрузки топлива**

В диапазоне системы контроля перегрузки топлива (СКП) АКНП-ИФ должна обеспечивать контроль плотности потока тепловых нейтронов в пределах от 10<sup>-3</sup> до 10<sup>2</sup> н/(см<sup>2</sup>·с).

В качестве детекторов нейтронов для устройства детектирования диапазона СКП были выбраны коронные счетчики медленных нейтронов СНМ18-1 (с радиатором 3He), которые успешно применяются для этой цели в устройствах детектирования из состава АКНП-7-02 [3]. Для счетчиков СНМ18-1 характерно присутствие постоянного коронирующего разряда в рабочем состоянии. При попадании нейтрона в радиатор, происходит ионизация атома гелия, в результате чего образуется α-частица и электрон. Под действием электрического поля они ускоряются и вызывают вторичную ионизацию, которая приобретает лавинный характер, обеспечивая усиление выходного импульса счетчика. Для повышения чувствительности в одном блоке детектирования собирается три параллельно соединенных счетчика СНМ18-1. Блок детектирования потока нейтронов на основе трех СНМ18-1 имеет обозначение БДПН-2.

Конструкция БДПН-2 обеспечивает его установку в канал ионизационных камер (ИК) биологической защиты реактора, оборудованный механизмом перемещения с электроприводом. Это позволяет в полуавтоматическом режиме, с использованием устройства управления механизмом перемещения (УУМП), вводить блок детектирования в канал ИК на уровень центра активной зоны реактора перед перегрузкой топлива и выводить его из канала ИК (в положение с низким уровнем ППН при работающем реакторе) после перегрузки топлива, что существенно продлевает срок службы счетчиков СНМ18-1. Кабель фирмы Nabia для БДПН-2 был выбран с учетом требований по радиационной стойкости, высокому рабочему напряжению и механической прочности.

Преобразователь сигналов детектора нейтронов (ПСДН-2), разработанный в ЗАО «СНПО "Импульс"» и предназначенный для работы с БДПН-2, обеспечивает:

- формирование напряжения питания (1800 V) для БДПН-2;
- усиление, дискриминацию (с регулируемым порогом дискриминации) и подсчет отдельных импульсов, формируемых детектором;
- передачу по интерфейсу "токовая петля" полученных значений с циклом 20 ms в УНО для обработки и вычисления мощности и периода реакторной установки.

БДПН-2 и ПСДН-2 вместе составляют устройство детектирования потока нейтронов УДПН-2 для контроля ППН в диапазоне СКП АКНП-ИФ. С целью подтверждения возможности использования УДПН-2 в каналах контроля ППН АКНП-ИФ была выполнена апробация опытного образца на энергоблоке №2 Хмельницкой АЭС. Результаты апробации приводятся ниже.

## **2 АНАЛИЗ СООТВЕТСТВИЯ АКНП-ИФ ТРЕБОВАНИЯМ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ ПО БЕЗОПАСНОСТИ**

В процессе разработки и апробации системы АКНП-ИФ проводился анализ и оценка соответствия этой системы требованиям нормативных документов по безопасности для использования ее на АЭС 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-ИФ;
- последовательный просмотр и анализ соответствия проектно-конструкторской и эксплуатационной документации для подтверждения соответствия требований по ЯРБ.

Анализ соответствия АКНП-ИФ требованиям нормативных документов проводился для следующих документов:

- технических условий на АКНП-ИФ (ТУ) [4];
- программы и методики приемочных испытаний на площадке изготовителя (ПМИ) [5];

- технического задания на комплект акнп-иф440 РЩУ[6];
- предварительного и окончательного отчета по анализу безопасности блока №3 ЮУАЭС.

### **2.1 Анализ соответствия АКНП-ИФ требованиям ДСТУ 1.3 и других документов**

Перечень разработанных и рассмотренных документов должен удовлетворять требованиям ГНД 306.7.02/2.041-2000 [7], где установлен перечень документов, обосновывающих безопасность информационных и управляющих систем (ИУС).

Ниже в качестве примера приведены результаты анализа технических условий (ТУ) на АКНП-ИФ.

ГНД 306.7.02/2.041-2000 (пункт 3.4.1) рассматривает технические условия как «нормативный документ, содержащий полный перечень технических требований (параметров, характеристик), соответствие которым гарантируется изготовителем для каждого поставляемого изделия, и устанавливающий правила приемки продукции на предприятии-изготовителе и методы контроля (испытаний), обеспечивающие надлежащее качество ПТК и ТСА серийного производства». Там же установлено, что полноту и содержание ТУ оценивают при экспертизе в соответствии с требованиями ДСТУ 1.3.

Результаты оценки, приведенные в табл. 1, подтвердили соответствие представленных ТУ требованиям ДСТУ 1.3 и других действующих в Украине нормативных документов, регламентирующих содержание технических условий.

Таблица 1 Требования НД к содержанию ТУ, их отражение и оценка

Сведения, которые должны содержаться в ТУ	Требования (номер пункта)			Отражение в ТУ	Оценка
	ГОСТ 2.11 4	ДСТУ 1.3	КНД 50-009		
Вводная часть	4.2	5.1	4.1	Стр. 3; 4	соответствует
Технические требования:	4.3	5.1	4.2	Раздел 1	соответствует
основные параметры и характеристики (свойства)	4.3.1	–	4.2.5	1.2, 1.7, 1.8, 1.16, 1.22	соответствует
показатели (характеристики) функционального назначения	–	–	4.2.5	1.5, 1.6, Приложение В Приложение Г	соответствует
требования к покупным изделиям	4.3.2	–	4.2.5	1.26	соответствует
маркировка	4.3.4	–	4.2.5	1.27	соответствует
упаковка	4.3.5	–	4.2.5	1.28	соответствует
комплектность	4.3.3	–	4.2.5	1.29	соответствует
Требования безопасности и охраны окружающей среды	4.4, 4.5	5.1	4.3	Раздел 2	соответствует
Правила приёмки	4.6	5.1	4.4	Раздел 3	соответствует
Методы контроля	4.7	5.1	4.5	Раздел 4	соответствует
Транспортирование и хранение	4.8	5.1	4.6	Раздел 5	соответствует
Указания по эксплуатации	4.9	5.1	4.7	Раздел 6	соответствует
Гарантии изготовителя	4.10	5.1	4.8	Раздел 7	соответствует
Перечень документов	4.11	5.3	Прил. Б	Приложение Б	соответствует

**2.2 Анализ соответствия АКНП-ИФ требованиям  
ГНД 306.7.02/2.041-2000**

Требования к содержанию технических условий (перечень сведений, которые должны рассматриваться при оценке ТУ, как нормативного документа, обосновывающего безопасность, приведены в ГНД 306.7.02/2.041-2000.

Такой перечень приведен в табл.2 вместе с номерами разделов, подразделов и пунктов ТУ, содержащих указанные сведения, и экспертными оценками их полноты и достаточности (соответствия требованиям ГНД 306.7.02/2.041-2000).

В пункте 5.3.3 ГНД 306.7.02/2.041-2000 указано, что установленные в ТУ правила приемки и методы контроля (испытаний, проверок) оценивают с точки зрения охвата проверками всех регулирующих требований, обеспечения объективности и достоверности результатов контроля, исключения возможности поставки потребителю некачественной продукции.

Регламентированные в таблице 3.2 ТУ объемы приёмочных, приемо-сдаточных и сертификационных испытаний охватывают проверками все требования к АКНП-ИФ, установленные в разделах 1 и 2 ТУ.

Как следует из результатов анализа, приведенных в табл.2, содержание ТУ является достаточно полным и соответствует приведенному в ГНД 306.7.02/2.041-2000 перечню сведений, которые должны содержаться в ТУ и рассматриваться при оценке безопасности.

**2.3 Анализ соответствия АКНП-ИФ требованиям  
НП 306.5.02/3.035- 2000**

Согласно пункту 5.3.3 ГНД 306.7.02/2.041-2000, при экспертизе ТУ на серийную продукцию, предназначенную для комплектации ИУС, важных для безопасности, должна производиться оценка регламентированных в ТУ технических требований с точки зрения их полноты и соответствия нормам и правилам НП 306.5.02/3.035-2000 [8] (см. табл. 3).

При этом учитывается, что в НП 306.5.02/3.035-2000 отражены и конкретизированы обязательные требования действующих в Украине нормативных документов по ЯРБ (НП 306.1.02/1.034-2000, ПБЯ РУ АС-89, ПНАЭ Г-5-006-87, ГОСТ 25804.4, ГОСТ 29075), а также требования общепромышленных стандартов (ГОСТ 29073, ГОСТ 29156, ГОСТ 29191, ГОСТ 29216, ГОСТ 29254, ДСТУ 2626).

В табл. 3 указаны:

- наименования регулирующих требований к системе и ее компонентам, важным для безопасности (относящихся к классам безопасности 2 и 3), которые должны быть отражены в ТУ;
- номера пунктов НП 306.5.02/3.035-2000, в которых регламентирована каждая группа регулирующих требований;
- номера пунктов ТУ, которые отражают регулирующие требования к устройствам детектирования, блокам вспомогательным и АКНП-ИФ в целом, установленные в НП 306.5.02/3.035-2000;
- оценку соответствия каждого из пунктов ТУ требованиям НП 306.5.02/3.035-2000.

Таблица 2 Требования ГНД 306.7.02/2.041-2000, их отражение и оценка

Требование	Номер пункта ГНД 306.7.02/2.041	Отражение в ТУ	Оценка
Перечень технических требований (параметров, характеристик), гарантированных изготовителем	3.4.1	1.2, 1.7, 1.8, 1.17, 1.19, Приложение Д	соответствует
Порядок согласования ТУ на изготовление и поставку продукции, предназначенной для АЭС	3.4.2	–	учитывается
Полнота и соответствие регулирующим требованиям НП 306.5.02/3.035-2000	5.3.3	См. подраздел 4.4 настоящего Отчёта	
Охват проверками регулирующих требований, которые предъявляются к продукции	5.3.4 (перечисление 1)	Раздел 3 Раздел 4	соответствует
Обеспечение объективности и достоверности результатов контроля (испытаний, проверок)	5.3.4 (перечисление 2)	Раздел 4	соответствует
Исключения возможности поставки потребителю некачественной продукции	5.3.4 (перечисление 3)	Раздел 3 Раздел 4,	соответствует
Указания по размещению, монтажу, наладке, техническому обслуживанию, восстановлению	5.3.5	6.1, 6.4, 6.6	соответствует
Требования к питанию, заземлению, климатическим условиям, электромагнитной обстановке и другие указания по эксплуатации	5.3.5	6.2, 6.3-6.5	соответствует
Наличие гарантийных обязательств и предлагаемое исчисление гарантийных сроков	5.3.6	раздел 7	соответствует



Таблица 3 Требования НП 306.5.02/3.035-2000, их отражение и оценка

Требование	Номер пункта		Оценка
	НП 306.5.02/3.035	ТУ	
К установлению класса безопасности	3.1.2-3.1.5, 3.2.1-3.2.5	Вводная часть	соответствует
К установлению категории сейсмостойкости	3.1.6, 3.2.6-3.2.8	Вводная часть	соответствует
К функциям	4.2.5	1.5, 1.6	соответствует
К соблюдению принципа единичного отказа	4.3	1.10	соответствует
К соблюдению принципа резервирования	4.4	1.11	соответствует
К соблюдению принципа независимости	4.5	1.12	соответствует
К соблюдению принципа разнообразия	4.6	1.13	соответствует
К защите от отказов по общей причине	4.7	1.14	соответствует
К точности	4.8, 5.7	1.7, 1.22	соответствует
К временным характеристикам	4.9	1.7	соответствует
По надежности	4.10, 5.10	1.8	соответствует
Требования к интерфейсу «человек-машина»	4.11	1.9	соответствует
К предотвращению ошибок персонала	4.12.5, 4.12.9	1.14	соответствует
К защите от несанкционированного доступа	4.13, 5.12	1.15	соответствует
По стойкости к воздействиям:			
– окружающей среды	4.14, 5.2	1.18.1	соответствует
– механическим (включая сейсмические)	4.14, 5.3	1.18.3, 1.18.5	соответствует
– дезактивирующих растворов	5.5	1.18.2	соответствует
– электрических полей	5.4	1.18.6	соответствует
По стойкости к изменению параметров питания	4.15.3-4.15.6, 5.6	1.17, 1.19	соответствует
К техническому диагностированию	4.16, 5.11	1.20	соответствует
К апробации	4.17	1.23	соответствует
К качеству	4.18	1.24	соответствует
К электрической изоляции	5.8	2.7- 2.9	соответствует
К электромагнитной совместимости	5.9	1.18.4	соответствует
К пожаробезопасности	5.13	2.18, 6.5	соответствует
По квалификации	5.14	3.6	соответствует
К испытаниям и приемке	4.19	Разделы 3, 4	соответствует
К программному обеспечению	6.2-6.6	1.21	соответствует

#### 2.4 Анализ соответствия АКНП-ИФ требованиям INSAG-12

Результаты анализа соответствия документации на АКНП-ИФ требованиям INSAG-12 [7] приведены в табл. 4. Анализ результатов, приведенный в табл. 3, показывает, что в документации на АКНП-И достаточно полно отражены критерии безопасности, устанавливаемые документом МАГАТЭ INSAG-12.

Таблица 4 Соответствие документации на АКНП-И требованиям INSAG-12

Наименование требования	№ пункта	ТУ
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	+

#### 3 АПРОБАЦИЯ КАНАЛОВ КОНТРОЛЯ ППН СИСТЕМОЙ АКНП-ИФ НА АЭС

Два блока детектирования БДПН-1 размещаются в одном канале ИК на разной высоте относительно центра активной зоны реактора (длина кабеля блока детектирования 16 метров). Блок детектирования БДПН-2 размещается в отдельном канале ИК (длина кабеля блока детектирования – 25 метров), оборудованном механизмом перемещения. Нормирующие преобразователи ПСДН-1 и ПСДН-2 размещаются на стенах в помещении, расположенном под реакторной установкой. Там же размещается пассивная коммутационная панель ПКм-18 для подключения трех устройств детектирования к УНО-2.

Устройство накопления и обработки УНО-2 размещается на расстоянии до 200 метров от устройств детектирования в зоне свободного режима. УНО-2 имеет блочную архитектуру, каждый блок элементов выполняет свои функции в составе канала контроля ППН. Блоки элементов реализованы в виде микропрограммных автоматов на основе микропроцессоров и микроконтроллеров. Основные функции защиты (вычисление по данным от устройств детектирования значений относительной физической мощности, скорости ее изменения и реактивности реакторной установки, сравнения

полученных значений с уставками и формирование дискретных сигналов аварийной и предупредительной защиты) реализованы в одном блоке элементов, построенном на основе сигнального процессора серии ADSP-2191 фирмы Analog Devices. Устройство ввода уставок УВУ-1, размещаемое на пульте оператора блочного щита управления (БЩУ), предназначено для задания в УНО-2 уровня уставок для формирования сигналов защит по мощности реакторной установки).

Апробация устройства детектирования диапазона СКП (УДПН-2) проводилась в период планово-предупредительного ремонта (ППР) энергоблока №2 Хмельницкой АЭС (октябрь-ноябрь 2005 г.). Результаты апробации показали, что УДПН-2 обеспечивает выполнение контроля ППН

при перегрузке ядерного топлива (рисунки 2 и 3).

Апробация устройства детектирования пускового и рабочего диапазонов (УДПН-1) проводилась на энергоблоке №3 Запорожской АЭС (в период с ноября 2005 г. по март 2006 г.). В процессе апробации выполнялся контроль ППН в процессе:

- выхода реактора из подкритического состояния на минимально-контролируемый уровень и набора мощности (рисунок 4);
- работы реактора на мощности в энергетическом диапазоне (рисунок 5);
- снижения мощности реактора до минимально-контролируемого уровня (рисунок 6).

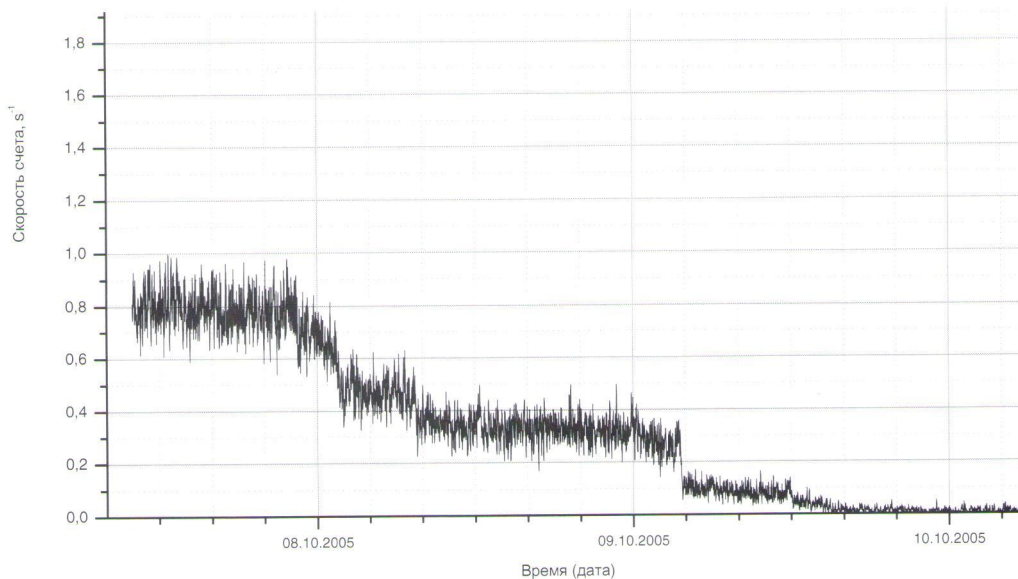


Рисунок 2 Показания УДПН-2 при выгрузке топлива из реактора

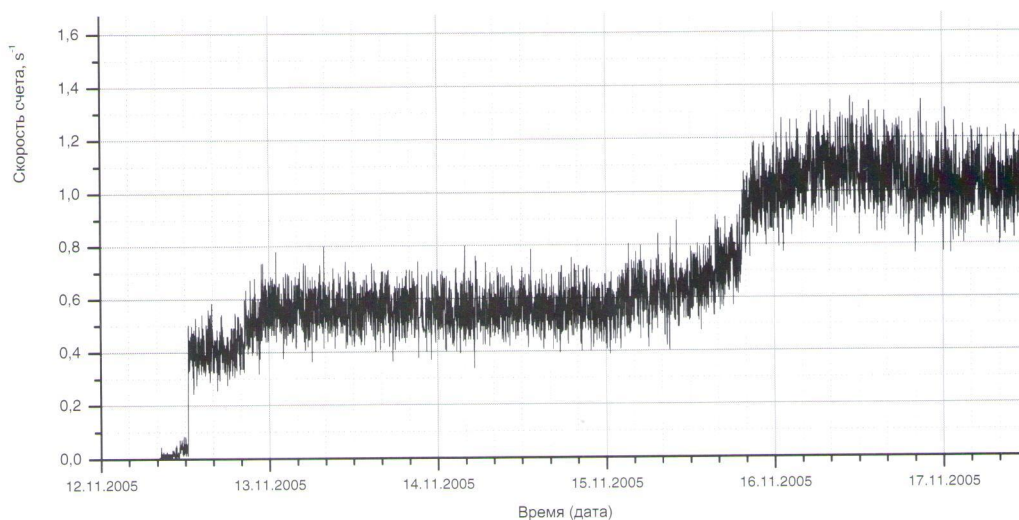


Рисунок 3 Показания УДПН-2 при загрузке топлива в реактор

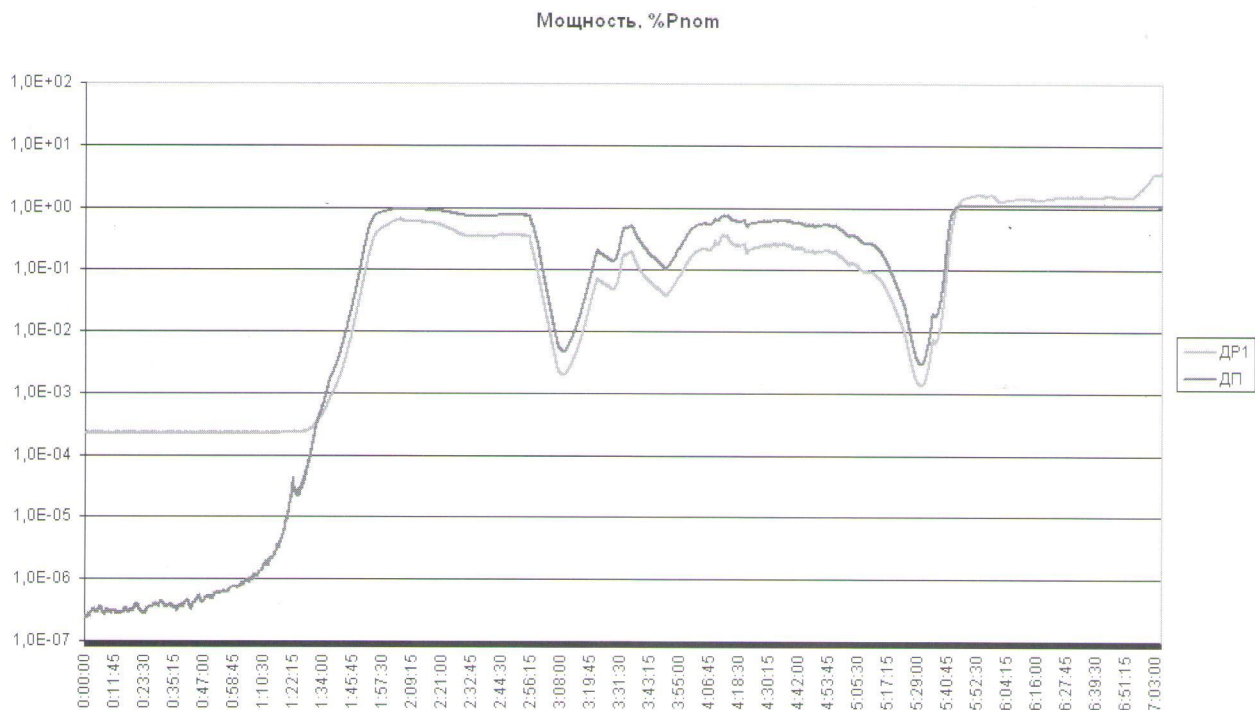


Рисунок 4 Показания УДПН-1 при наборе мощности

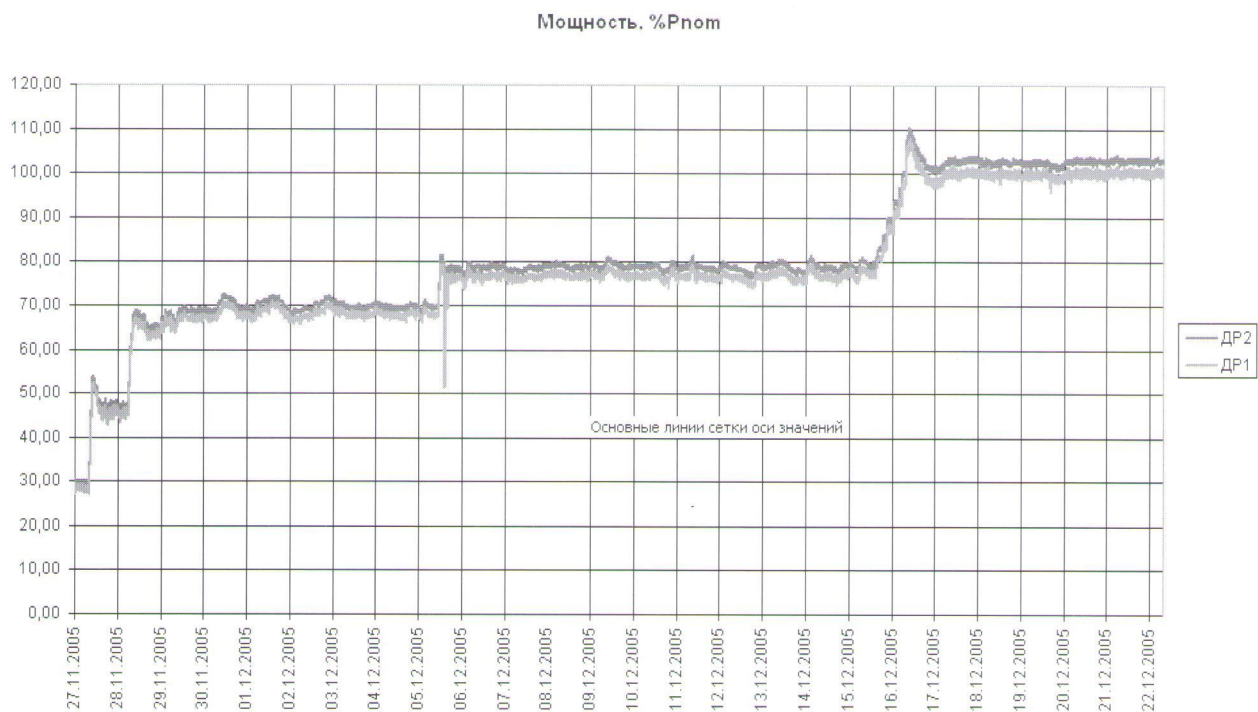


Рисунок 5 Показания УДПН-1 при работе на мощности

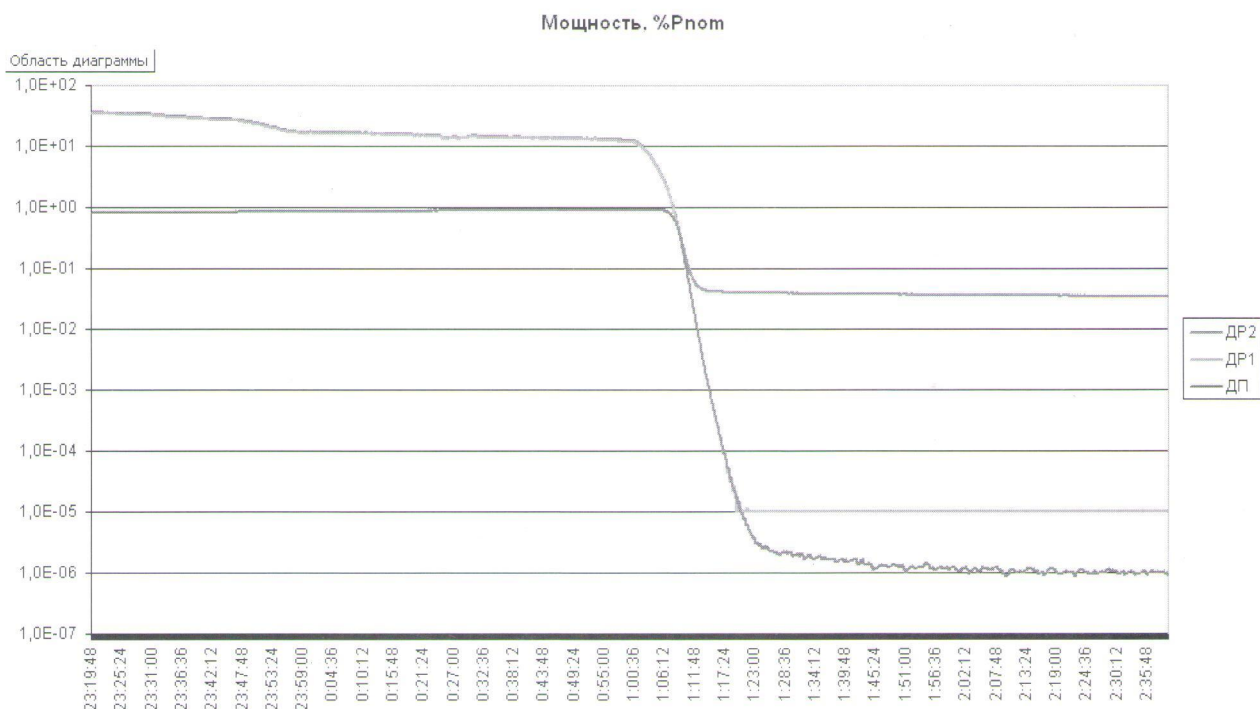


Рисунок 6 Показания УДПН-1 при снижении мощности

По результатам апробации УДПН-1 было установлено, что:

- в импульсном режиме линейность показаний сохраняется до уровня ППН более  $5 \times 10^6$  н/(см<sup>2</sup>·с), что соответствует требованиям и значительно превосходит характеристики устройства детектирования из состава АКНП-И;
- флуктуационный режим не чувствителен к фоновому гамма-излучению, не имеет остаточных показаний после работы реактора на мощности и начинает стабильно работать с уровня ППН не более  $5 \times 10^4$  н/(см<sup>2</sup>·с), что позволяет его использовать в качестве промежуточного между импульсным и токовым;
- остаточные показания после работы реактора на мощности в токовом режиме на полтора порядка меньше уровня начала диапазона ДР2 (1 % P<sub>ном</sub>), что обеспечивает гарантированное переключение в диапазон ДР1 при снижении мощности.

#### 4 СОСТАВ И СВОЙСТВА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

##### 4.1 Структура программного обеспечения АКНП-ИФ

ПО АКНП-ИФ состоит из независимых компонентов, перечисленных в таблице 5. Кроме того, в таблице 1 для каждого из комплектов программ указаны класс безопасности (2 или 3), среда реализации (микропроцессор, контроллер РС104 или панельный компьютер), апробированность ПО (ранее разработанное или впервые разработанное).

ПО УНО, ПСДН-1, ПСДН-2, УВУ-1, УУМП, ДФ-1, ИнС-1, СОА-1, УСГ-2, ИКР-1 обеспечивает реализацию функций на уровне микропрограммного автомата, хранится во флеш-памяти и устанавливается при изготовлении ТСА. ПО УТО выполняется в среде промышленного контроллера РС104. ПО УРО-1, МО АКНП-ИФ, МО УД АКНП-ИФ, МО ИКР-1 выполняется на панельных компьютерах.

ПО АКНП-ИФ является достаточным для выполнения всех функций согласно технических условий ТУ У 30.0-31393258-017:2006 А на разработку АКНП-ИФ.

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

ПО УНО, ПСДН-1, ПСДН-2, УВУ-1, ДФ-1, ИнС-1, СОА-1 и УСГ-2 реализовано в виде микропрограмм, разработанных на языке Assembler в среде микропроцессоров, и не использует операционную систему.

В микропрограммах ПСДН-1, ПСДН-2, ДФ-1, ИнС-1, СОА-1 и УСГ-2 (класс безопасности 2) прерывания не используются. В микропрограммах УНО и УВУ-1 (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).

Таблица 5 Состав программного обеспечения АКНП-ИФ

Наименование	Класс безопасности	Среда реализации	Апробированность
Комплект программ УНО-2 и УНО-3 (УНО) в составе: ПО МП БМп (ПО блока микропроцессорного БМп-10); ПО МП БУ (ПО блока управления БУ-460); ПО МП БСв (ПО блока связи БСв-227); ПО МП БПт (блока питания БПт-177); ПО МП ФД (ПО формирователя дискретных сигналов ФД(Р)-16); ПО МП ФН (ПО формирователь напряжений ФН(Р)-8)	2	микропроцессор	впервые разработанное ПО
Комплект программ ПСДН-1	2	микропроцессор	впервые разработанное ПО
Комплект программ ПСДН-2	2	микропроцессор	впервые разработанное ПО
Комплект программ УВУ-1	2	микропроцессор	ранее разработанное ПО
Комплект программ УУМП	3	микропроцессор	ранее разработанное ПО
Комплект программ УТО АКНП-ИФ в составе: ПО контроллера РС104; ПО микропроцессора ADSP-2181	3	контроллер РС104, микропроцессор	впервые разработанное ПО
Комплект программ ДФ-1	2	микропроцессор	ранее разработанное ПО
Комплект программ ИнС-1	2	микропроцессор	ранее разработанное ПО
Комплект программ СОА-1	2	микропроцессор	ранее разработанное ПО
Комплект программ УСг-2	2	микропроцессор	впервые разработанное ПО
Комплект программ УРО-1	3	панельный компьютер	впервые разработанное ПО
Комплект программ ИКР-1	3	микропроцессор	впервые разработанное ПО
Комплект программ метрологического обеспечения АКНП-ИФ	3	панельный компьютер	впервые разработанное ПО
Комплект программ метрологического обеспечения УД АКНП-ИФ	3	панельный компьютер	впервые разработанное ПО
Комплект программ метрологического обеспечения ИКР-1	3	панельный компьютер	впервые разработанное ПО

#### 4.2 Диагностирование и самоконтроль программного обеспечения АКНП-ИФ

ПО АКНП-ИФ обеспечивает оперативный автоматический контроль технического состояния ТСА:

- контроль напряжений электропитания;
- контроль температуры в шкафу УНО и корпусах УВУ, ДФ, ИнС, СОА, УДПН;
- контроль положения дверей шкафа УНО;
- контроль выходных аналоговых каналов УНО;
- контроль выходных дискретных каналов УНО;
- контроль работоспособности каналов связи между ТСА.
- самодиагностика по включению питания.

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.

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-ИФ 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.

Контроль обеспечивает проверку как отдельных функций канала АКНП-ИФ, так и комплексную проверку АКНП-ИФ 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;
- устройств детектирования.

ПО УНО обеспечивает техническое диагностирование и выявление неисправностей с точностью до устройства/блока или двух взаимосвязанных устройств/блоков либо связей между ними.

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-ИФ 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 (недопустимых комбинаций флагов запуска подпрограмм и т.п.).

Отсутствие влияния диагностического ПО на выполнение основных функций АКНП-ИФ подтверждается структурой ПО АКНП-ИФ и структурой информационных потоков, реализованной между программными модулями. Анализ функционирования АКНП-ИФ в различных режимах работы показал, что реализация программ непрерывного автоматического контроля, технического диагностирования и самоконтроля не влияет на выполнение функционального ПО и не приводит к ухудшению его характеристик.

ПО АКНП-ИФ обеспечивает возможность проведения периодических неоперативных проверок (опробований) функций ТСА в режиме «ПРОВЕРКА».

ПО АКНП-ИФ обеспечивает передачу результатов технического диагностирования для архивации и информирования обслуживающего персонала.

#### **4.3 Защита программного обеспечения АКНП-ИФ от отказов, искажений, ошибочных и несанкционированных действий**

Защита от отказов, искажений, ошибочных и несанкционированных действий подтверждается реализацией следующих функций ПО АКНП-ИФ:

- отображением 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-ИФ и «ПРОВЕРКА»;

- ведением протокола сбоев и отказов;
- формированием и передачей информации для архива результатов контроля, параметров и событий в рабочую станцию архивирования – шлюз информационной вычислительной системы энергоблока (ИВС);
- неоперативным контролем работоспособности и технического состояния УНО, ДФ, ИнС, УВУ, СОА в процессе изготовления, испытаний и технического обслуживания.
- группировкой отображаемых переменных 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.

Микропрограммы УНО предусматривают защиту от отказов технических средств путем формирования сигнала «Неисправность» и сигналов аварийной и предупредительной защиты (АЗ, ПЗ, Стоп) в случае выявления средствами автоматического контроля технических средств неработоспособности аппаратуры класса безопасности 2, влияющей на выполнение основных функций УНО.

Микропрограммы осуществляют контроль достоверности и защиту от искажений входной информации:

- от устройств детектирования – 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:

- при вводе оператором параметров функционирования АКНП-ИФ с ограниченным количеством возможных значений (уставки по периоду, режим работы СОА, номер УНО и т.д.) – предоставлением возможности выбора из списка возможных значений;
- при вводе оператором параметров функционирования АКНП-ИФ с большим количеством возможных значений (уставки мощности, тарифовка мощности, коэффициенты расчета реактивности и т.д.) – контролем значений допустимому диапазону и текущему

режиму работы;

- при вводе оператором уставки мощности или значения мощности при выполнении тарировки – индикацией набираемого значения на индикаторе устройства ввода уставок (для контроля) до его ввода в действие.

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

Для функции аварийной защиты, реализуемой в АКНП-ИФ, учтены следующие требования:

- реализованы два варианта подпрограммы расчета относительной физической мощности реактора, отличающиеся алгоритмами реализации этой функции;
- реализованы два варианта подпрограммы расчета скорости (периода) изменения относительной физической мощности реактора, отличающиеся алгоритмами реализации этой функции.

Выбор используемого варианта расчета относительной физической мощности реактора и скорости (периода) ее изменения определяется выбором технического решения, указываемого при настройке параметров функционирования УНО.

#### 4.4 Процесс разработки программного обеспечения АКНП-ИФ

При оценке соответствия ПО установленным критериям качества использовалась номенклатура свойств, определяющих качество, согласно ДСТУ 2850-94.

Функциональность ПО подтверждается его способностью в полном объеме выполнять заданные функции.

Надежность ПО подтверждается его работоспособностью в заданных условиях, средствами самоконтроля ПО, а также восстанавливаемостью ПО после отказов и сбоев.

Удобство использования ПО подтверждается учетом его эксплуатационных особенностей, простотой в освоении и использовании, а также наличием документации оператора и системного программиста.

Рациональность (эффективность) ПО подтверждается его физическим распределением между аппаратными ресурсами, а также структурой основного цикла работы.

Сопровождаемость ПО подтверждается его приспособленностью для внесения разработчиком изменений, учитывающих потребности пользователя.

Переносимость ПО подтверждается его приспособленностью для настройки к функционированию в составе конкретной системы (АКНП-ИФ энергоблока № 3 ЮУАЭС).

Требование к обеспечению качества ПО выполнено полностью.

Все стадии процесса разработки ПО АКНП-

ИФ подробно документированы. Эксплуатационная документация на ПО АКНП-ИФ является достаточной для освоения, эксплуатации и сопровождения ПО. Конечному пользователю поставляются печатные копии эксплуатационных документов в 2-х экземплярах и их электронные копии.

Основными критериями при выборе инструментальных средств разработки ПО АКНП-ИФ являются функциональные возможности, удобство использования, эффективность, апробированность, наличие лицензии.

Для верификации ПО АКНП-ИФ применяются следующие апробированные программные инструментальные средства:

- VisualDSP++ release 2.0 для микропроцессоров семейства ADSP-218x и ADSP-219x фирмы Analog Devices;
- $\mu$ Vision2 V2.14 фирмы Keil Elektronik;
- компилятор Borland C++ и библиотека Graphic Vision 2.1 фирмы Borland.

При разработке ПО АКНП-ИФ использовались методы модульного, структурного и объектно-ориентированного программирования.

#### 4.5 Процесс верификации программного обеспечения АКНП-ИФ

Верификация ПО АКНП-ИФ проводилась с целью установления адекватности технических требований к ПО, проекта ПО и полученного программного кода заданным требованиям технических условий ТУ У 30.0-31393258-017:2006 А. по следующим критериям:

- обеспечение в полном объеме основных функций;
- обеспечение технического диагностирования и самоконтроля;
- обеспечение защиты от отказов, искажений, ошибочных и несанкционированных действий.
- Верификация ПО АКНП-ИФ включала в себя следующие этапы (см. таблицу 2):
- верификацию технических требований к ПО;
- верификацию проекта ПО;
- верификацию программного кода.

Этапы и соответствующие проверки согласно таблице 6 выполнялись для каждой из программ, указанных в таблице 5.

При проведении мероприятий по верификации ПО на всех этапах используются методы анализа и тестирования.

Методы анализа применяются для верификации программной документации. Применяются неформализованные методы инспекции и проверки на соответствие документации, разработанной на предыдущем этапе проектирования. Метод инспекции заключается в рассмотрении документа на предмет отсутствия ошибок и несоответствий.

Методы тестирования включают в себя автономное и комплексное тестирование.

Таблица 6 Структура процесса верификации ПО АКНП-ИФ

Этапы верификации и выполняемые проверки	Методы верификации	Отчетные документы
1. Разработка требований к ПО	Анализ документации (технических требований – ТТ)	Утвержденные ТТ, отчеты по верификации требований к ПО, записи в Журналах верификации
1.1 Проверка функциональных требований к ПО		
1.2 Проверка требований к структуре и элементам ПО		
1.3 Проверка требований к диагностированию и самоконтролю		
1.4 Проверка требований к обеспечению защиты от отказов, искажений, ошибочных и несанкционированных действий		
1.5 Проверка требований к процессу разработки ПО	Анализ документации (ТТ)	
2. Проектирование ПО	Анализ документации (алгоритмы)	Утвержденные алгоритмы, отчеты о верификации алгоритмов, записи в Журналах верификации
2.1 Соответствие алгоритмов ПО функциональным требованиям с точки зрения непротиворечивости и полноты, включая модульность ПО		
2.2 Комплектность и достаточность алгоритмов по обеспечению диагностирования, самоконтроля, защиты от отказов, искажений, ошибочных и несанкционированных действий		
2.3 Доступность (читабельность) алгоритмов для групп разработчиков и верификации	Анализ документации (алгоритмы)	
3. Кодирование ПО	проверки согласно программам и методикам верификации	Программы и методики тестирования, записи в Журналах верификации
3.1 Адекватность полученного результирующего кода заданному алгоритму по следующим критериям:		
- обеспечение основных функций в полном объеме		
- обеспечение технического диагностирования и самоконтроля		
- обеспечение защиты от отказов, искажений, ошибочных и несанкционированных действий		
3.2 Комплексная проверка работоспособности ПО ТСА	проверки согласно программам и методикам верификации	
4. Анализ и оценка результатов верификации	Анализ документации по верификации	Отчеты по верификации

При автономном тестировании осуществляется проверка функционирования ПО в рамках одной программы/подсистемы. При комплексном тестировании осуществляется проверка ПО АКНП-ИФ в целом, в процессе взаимодействия двух и более подсистем.

Объем проведенных процедур верификации ПО АКНП-ИФ и полученные результаты позволяют сделать вывод об их полноте и достаточности и отсутствии необходимости проведения дополнительной верификации ПО. Все замечания, обнаруженные в ходе проверок, устранены. В отчетах по всем этапам верификации зафиксированы положительные выводы, а также положительная интегральная оценка всех материалов.

Документы, относящиеся к планированию верификации ПО АКНП-ИФ, содержат:

- выбор стратегии верификации;
- порядок проведения верификации;
- методы и средства, используемые в процессе верификации;
- порядок документирования действий по верификации;
- порядок оценки результатов верификации.

Документы, относящиеся к отчетности по верификации ПО АКНП-ИФ, содержат:

- перечни входных и выходных сигналов при испытаниях;
- результаты испытаний ПО и их оценку;
- обнаруженные недостатки ПО;
- выводы по результатам анализа обнаруженных недостатков;
- мероприятия по устранению обнаруженных недостатков.

## 5 МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АКНП-ИФ

При выпуске из производства АКНП-ИФ проводится государственная метрологическая аттестация:

- устройств детектирования – на материально-технической базе ННЦ "Институт метрологии" (г. Харьков);
- каналов контроля ППН – на площадке ЗАО «СНПО "Импульс"».

В процессе эксплуатации АКНП-ИФ калибровке подвергаются каналы контроля ППН;



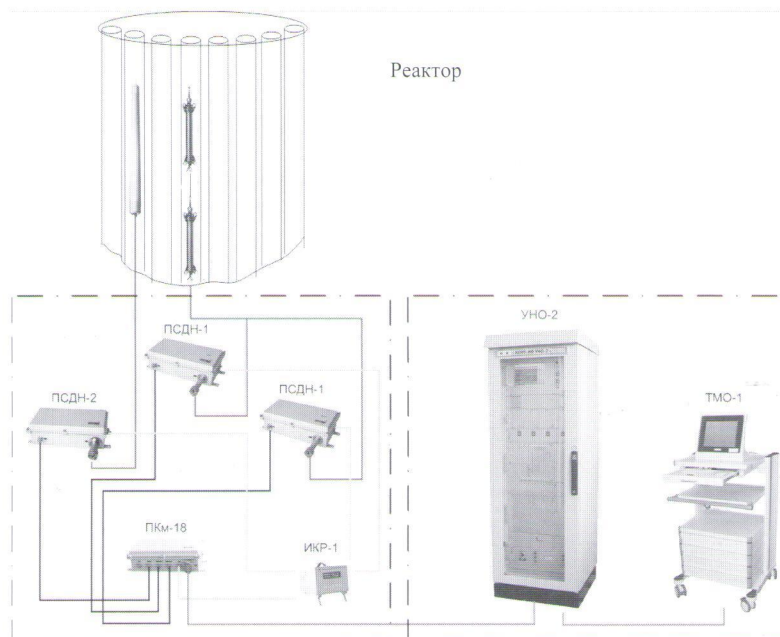


Рисунок 7 Схема проведения калибровки каналов контроля ППН АКНП-ИФ

устройства детектирования калибровке не подвергаются. В отличие от АКНП-И, калибровка каналов контроля ППН (рисунок 7) обеспечивает проверку не только УНО, но и нормирующих преобразователей (ПСДН-1 и ПСДН-2). При калибровке на энергоблоке блоки детектирования не отключаются от нормирующих преобразователей, а только выключается их высоковольтное электропитание.

В качестве имитатора сигналов блоков детектирования, подключаемых к нормирующим преобразователям, используется разработанный для этой цели имитатор кинетики реактора (ИКР-1). ИКР-1 подключается к отдельным соединителям ПСДН-1 и ПСДН-2, что не требует физического отключения блоков детектирования для выполнения калибровки. На время проведения калибровки ИКР-1 приносится в помещение строгого режима, в котором размещаются нормирующие преобразователи устройств детектирования. ИКР-1 подвергается метрологической аттестации при выпуске из производства и калибровке в процессе эксплуатации.

Выполнение метрологической аттестации и калибровки каналов контроля ППН АКНП-ИФ выполняется в автоматическом режиме с использованием комплекта программ метрологического обеспечения АКНП-ИФ. Программы выполняются на терминале метрологического обеспечения ТМО-1, подключаемом к УНО-2 по интерфейсу RS422. ТМО-1 осуществляет выдачу через УНО-2 и ПКм-18 команд управления в ИКР-1 и прием из УНО-2 результатов вычисления мощности, периода и реактивности.

## 6 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты предварительных испытаний и апробации на АЭС показывают, что каналы контроля ППН АКНП-ИФ, построенные на основе разработанных в ЗАО «СНПО "Импульс"» устройств детектирования УДПН-1 и УДПН-2, превосходят по своим характеристикам каналы контроля ППН АКНП-И, построенные на основе устройств детектирования АКНП-7-02.

Эти выводы также подтверждаются первыми результатами опытно-промышленной эксплуатации АКНП-ИФ на энергоблоке №3 ЮУАЭС (комплект АКНП-ИФ для СУЗ) и на энергоблоке №2 ЗАЭС (комплект АКНП-ИФ для РЩУ).

## Литература

1. В.В.Елисеев, Г.Ю.Пивоваров, А.С.Набатов, С.А.Мошинский, В.В.Скляр, Л.И.Спектор. Система контроля нейтронного потока для реакторов ВВЭР-1000: обеспечение и оценка безопасности.
2. Neutron and gamma detectors. Photonis S.A.S. Product's catalogue.2002.
3. Волков С.В. и др. Экспериментальные исследования блоков и устройств детектирования АКНП. Ядерное приборостроение.1989, №1. С. 75-82.
4. Аппаратура контроля нейтронного потока АКНП-ИФ. Технические условия. ТУ У 30.0-31393258-017:2006 А, разработанные ЗАО "СНПО «Импульс»".
5. Аппаратура контроля нейтронного потока АКНП-ИФ. Программа и методика приемочных испытаний. ИТКЯ.466451.014 ПМ, разработанные ЗАО "СНПО «Импульс»".
6. Техническое задание ИТКЯ.20.0327 ТЗ «Комплект аппаратуры контроля нейтронного потока для резервного щита управления акнп-иф440 РЩУ»
7. ГНД 306.7.02/2.041-2000. Методика соответствия информационных и управляющих систем, важных для безопасности атомных станций, требованиям по ядерной и радиационной безопасности.

8. НП 306.5.02/3.035-2000. Требования по ядерной и радиационной безопасности к информационным и управляющим системам, важным для безопасности атомных станций;

9. INSAG-12. Basic safety principles for nuclear power plants. 75 INSAG-3 Rev.1.

**В.В.Єлісєєв, Г.Ю.Півоваров, О.С.Набатов, В.О.Устімов,  
В.В.Скляр, Л.І.Спектор, С.О.Мошинський**

### **СИСТЕМА КОНТРОЛЮ НЕЙТРОННОГО ПОТОКУ АКНП-ИФ: ОСОБЛИВОСТІ, ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ Й ОЦІНКА БЕЗПЕКИ**

*Стаття присвячена системі контролю нейтронного потоку АКНП-ИФ. У статті відображені наступні питання:*

- загальні відомості про систему;
- аналіз відповідності системи вимогам з безпеки;
- аналіз результатів випробувань системи;
- склад і властивості програмного забезпечення системи.

**V.Eliseev, G.Pivovarov, A.Nabatov, V.Ustimov,  
V.Sklyar, L.Spektor, S.Moshinskiy**

### **NEUTRON FLUX MONITORING SYSTEM AKNP-IF: FEATURES, SAFETY ASSURANCE AND ASSESSMENT**

*Article is devoted to the neutron flux monitoring system AKNP-IF. The following questions are reflected in article:*

- the general information about system;
- the analysis of system compliance to safety requirements;
- the analysis of system tests results;
- structure and properties of the system software.