

УДК 656.7

С.А. ТРУБЧАНИНОВ

Государственный научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности, Украина

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ДЕТЕКТОРОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В АППАРАТУРЕ КОНТРОЛЯ НЕЙТРОННОГО ПОТОКА

Собраны статистические данные, по которым определены показатели эксплуатационной надежности детекторов нейтронного потока, функционирующих совместно с разными типами аппаратуры контроля нейтронного потока: детекторов КНК-3, КНК-4, КНК- и детекторов CFUL08/F16. Результаты эксплуатационной надежности являются обратной связью в системе обеспечения качества и надежности для АЭС, которые позволяют решать ряд задач, связанных с эксплуатацией и модернизацией оборудования энергоблоков АЭС. Полученные результаты эксплуатационной надежности детекторов, используемых в разных типах АКНП, указывают на значительное повышение надежности детекторов, которые применяются в новых типах АКНП.

Ключевые слова: детектор, аппаратура контроля нейтронного потока, показатели надежности.

Введение

В настоящее время на всех украинских АЭС в рамках программ повышения безопасности и продления срока службы действующих энергоблоков проводится широкомасштабная модернизация действующих информационно-управляющих систем (ИУС). Неотъемлемой частью системы управления и защиты реакторов является информационная система, предназначенная для контроля нейтронного потока.

Традиционно в русскоязычной литературе эти системы носят название аппаратура контроля нейтронного потока (АКНП). В этом названии использовано слово «аппаратура», которое соответствует понятию «техническое средство». Однако АКНП включает датчики нейтронного потока, центральную часть, устройства ввода уставок, технические средства представления и регистрации информации и является, по сути, не аппаратурой, а информационной системой.

Государственный научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности (ГНТЦ ЯРБ) совместно с работниками АЭС провел сбор статистических данных, по которым были определены показатели эксплуатационной надежности детекторов нейтронного потока АЭС, а также показатели эксплуатационной надежности всей системы контроля нейтронного потока с детекторами.

1. Назначение АКНП

Основное назначение АКНП – обеспечивать контроль за относительными изменениями нейтрон-

ной мощности реактора и скоростью (периодом) этих изменений по изменениям плотности потока нейтронов (ППН). АКНП должна формировать сигналы аварийной защиты (АЗ) для быстрого гашения цепной реакции в реакторе, сигналы предупредительной защиты (ПЗ) для обеспечения снижения мощности реактора или обеспечения запрета на увеличение мощности реактора, сигналы для регулирования и управления по относительной нейтронной мощности и периоду.

Такое назначение аппаратуры контроля нейтронного потока обуславливает необходимость оценки надежности как АКНП в целом, так и детекторов нейтронного потока, которые являются ее неотъемлемой частью.

В Украине не производятся детекторы нейтронного потока, которыми комплектуются аппаратурой контроля нейтронного потока блоков ВВЭР, в то время как новые модификации АКНП разрабатываются для АЭС Украины Северодонецким научно-производственным объединением (НПО) «Импульс».

Старые модификации АКНП (АКНП-3 и АКНП-7) разработки Союзного научно-исследовательского института приборостроения «СНИИП» (Россия) комплектовались детекторами производства «Приборостроительный завод» (г. Трехгорный, Россия).

Новые модификации АКНП разработки Северодонецкого НПО «Импульс» комплектуются или детекторами разработки России (АКНП-И) или детекторами разработки Франции фирмы «Photonis» (АКНП-ИФ) [1].

2. Определение показателей эксплуатационной надежности детекторов, применяемых в АКНП-3

Оценка показателей надежности проводилась для трех типов детекторов входящих в состав АКНП-3, которые эксплуатируются, или эксплуатировались на энергоблоках Запорожской АЭС:

КНК-3 - работает в рабочем поддиапазоне;

КНК-4 - работает в пусковом поддиапазоне;
КНК-15 - работает в поддиапазоне контроля перегрузки и поддиапазоне источника.

Показатели надежности детекторов применяемых в АКНП-3 приведены в табл. 1.

Собрана информация за 1990 - 2010 гг. Общее количество отказов детекторов за период наблюдения составило 109. Распределение отказов детекторов применяемых в АКНП-3 по причинам показано в табл. 2.

Таблица 1

Показатели надежности детекторов, применяемых в АКНП-3

Тип детектора	Число детекторов на одном блоке	Общее число детекторов	Суммарная наработка детекторов, лет	Число отказов	Оценка наработки на отказ, лет		
					T	T _n	T _b
КНК-3	21	126	1992	33	60,4	46,5	85,2
КНК-4	7	42	698	20	34,5	24,8	52
КНК-15	6	36	43	56	0,77	0,62	1,0

Таблица 2

Распределение отказов детекторов, применяемых в АКНП-3, по причинам

Причина отказов	Тип детектора	Количество отказов
Обрыв жил кабеля ИК	КНК-3	32
	КНК-4	20
Сопротивление изоляции меньше допустимого	КНК-3	1
	КНК-4	1
	КНК-15	53
Разрушение изолятора детектора	КНК-3	1
	КНК-15	1
Всего отказов по всем причинам		109

Из таблицы 2 видно, что показатели надежности детекторов КНК-15 самые низкие. Причиной практически всех отказов КНК-15 является снижение изоляции меньше допустимого уровня. Это объясняется следующим образом.

В условиях функционирования детекторов КНК-15, особенно во время перегрузки топлива, возникает охрупчивание изоляции кабелей этих детекторов. В периоды перегрузки топлива, вследствие охрупчивания и механических движений кабелей, возникает механическое повреждение изоляции, которое приводит к уменьшению ее сопротивления к недопустимому уровню, который определяет отказ детектора.

Нужно также отметить, что в поддиапазоне системы контроля перегрузки (СКП), при мощности реактора на уровне максимально-контролируемого уровня (МКУ), должны использоваться де-

текторы с высокой чувствительностью. Для таких детекторов снижения сопротивления изоляции, которое вызывает увеличение токов утечки, имеет более существенное значение, сравнительно с детекторами, которые функционируют в других диапазонах на более высоком уровне мощности реактора (детекторы КНК-3 и КНК-4) и являются менее чувствительными.

3. Определение показателей эксплуатационной надежности детекторов, применяемых в АКНП-ИФ

Северодонецким НПО «Импульс» разработана аппаратура АКНП-ИФ, в которой в качестве детектора для пускового и рабочего поддиапазонов выбран детектор CFUL08/F16 фирмы «Photonis» (Франция).

Детекторы этого типа успешно используются на АЭС с реакторами ВВЭР-440 Богунце (Словакия) и Пакш (Венгрия) в составе аппаратуры фирмы Siemens.

Детектор состоит из двух — шести (в зависимости от требуемой чувствительности) концентрически расположенных цилиндрических электродов, покрытых ураном и вставленных один в другой.

Электроды, образующие анод и катод, электрически и механически соединены между собой (Рис. 1).

Оценка показателей надежности проводилась для детекторов, используемых в АКНП-ИФ, которые эксплуатируются на энергоблоках Запорожской АЭС и Южно-Украинской АЭС. Продолжительность эксплуатации детекторов CFUL08/F16 за период сбора статистических данных приведено в табл. 3.

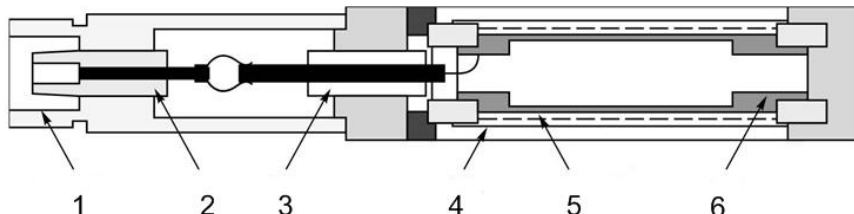


Рис. 1. Структурная схема детектора CFUL08/F16 (1 – разъем; 2, 3 – изоляторы; 4 – катод; 5 – радиатор; 6 – анод)

Таблица 3

Продолжительность эксплуатации детекторов CFUL08/F16 АКНП-ИФ за период сбора статистических данных

АЭС	№ блока	Комплект	Число детекторов	Период наблюдения, лет	Продолжительность эксплуатации детекторов, ч
ЗАЭС	2	БЩУ-1 РЩУ	6 3	2 4	96000 96000
	6	РЩУ	3	2	48000
ЮУ АЭС	1	БЩУ-1 БЩУ-2	6 6	1	48000 48000
	2	БЩУ-1 БЩУ-2	6 6	1	48000 48000

За период наблюдения отказов детекторов CFUL08/F16 не зафиксировано. По этой информации можно определить только нижнюю доверительную границу наработки на отказ детекторов, которая составляет 144000 ч или верхнюю доверительную границу параметра потока отказов - $6,9 \cdot 10^{-6}$ 1/ч.

4. Определение показателей эксплуатационной надежности функций АКНП-ИФ с детекторами CFUL08/F16

Представляет интерес рассмотрение показателей эксплуатационной надежности всей системы измерения интенсивности нейтронного потока, которая включает в себя как детекторы CFUL08/F16, так и аппаратуру контроля нейтронного потока АКНП-ИФ.

Приведенные в табл. 4 показатели надежности АКНП-ИФ определены для каждой из функций, которые используются аппаратурой АКНП-ИФ совместно с детекторами CFUL08/F16. При этом рассмат-

ривались как отдельные каналы при выполнении каждой из функций, так и комплекты АПЗ-СКП, которые служат как для АЗ и ПЗ, так и для СКП. Каждый комплект содержит 3 канала.

Получены также показатели эксплуатационной надежности – параметры потока отказов для каналов при выполнении каждой из функций АКНП-ИФ и параметры потока отказов вместе с детекторами CFUL08/F16.

При определении параметра потока отказов АКНП-ИФ с детекторами CFUL08/F16 для каждого канала использовался консервативный подход, который заключается в следующем. Как известно, по приведенной выше информации, отказов детекторов CFUL08/F16 за период наблюдения зафиксировано не было и верхняя доверительная граница параметра потока отказов детектора CFUL08/F16 составляет $6,9 \cdot 10^{-6}$ 1/ч. Поэтому, параметр потока отказов АКНП-ИФ с детекторами CFUL08/F16 принят как сумма точечной оценки параметра потока отказов АКНП-ИФ для каждого канала и доверительной границы параметра потока отказов детектора CFUL08/F16.

Таблица 4

Показатели эксплуатационной надежности функций АКНП-ИФ с детекторами CFUL08/F16

Наименование функции	Наименование изделия	Количество изделий	Наработка, ч	Количество отказов	Наработка на отказ АКНП-ИФ, ч		Оценка параметра потока отказов АКНП-ИФ, 1/ч	Оценка параметра потока отказов АКНП-ИФ с детекторами CFUL08/F16, 1/ч.
					Значение по ТУ	Оценка		
Формирование сигналов АЗ по относительной нейтронной мощности и скорости ее изменения	Комплект АПЗ-СКП	15	155000	0	$1 \cdot 10^6$	–	–	–
	Канал	45	466000	2	$1 \cdot 10^4$	$23,3 \cdot 10^4$	$4,3 \cdot 10^{-6}$	$11,2 \cdot 10^{-6}$
Формирование сигналов ПЗ	Комплект АПЗ-СКП	15	155000	0	$1 \cdot 10^6$	–	–	–
	Канал	45	466000	2	$1 \cdot 10^4$	$23,3 \cdot 10^4$	$4,3 \cdot 10^{-6}$	$11,2 \cdot 10^{-6}$
Формирование сигналов для регулирования и управления	Комплект АПЗ-СКП	15	15500	0	$2 \cdot 10^5$	–	–	–
	Канал	45	466000	1	$8,7 \cdot 10^3$	$46,6 \cdot 10^3$	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$9,1 \cdot 10^{-6}$
Формирование сигналов об исправности технических средств автоматизации, диапазоне измерения и др.	Комплект АПЗ-СКП	15	155000	0	$5 \cdot 10^4$	–	–	–
	Канал	45	466000	2	$1 \cdot 10^4$	$23,3 \cdot 10^4$	$4,3 \cdot 10^{-6}$	$11,2 \cdot 10^{-6}$
Регистрация, сигнализация	Комплект АПЗ-СКП	15	155000	0	$2 \cdot 10^4$	–	–	–
	Канал	45	466000	1	–	$46,6 \cdot 10^3$	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$9,1 \cdot 10^{-6}$
Формирование сигналов для передачи в другие системы автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) АЭС	Комплект АПЗ-СКП	15	15000	0	$5 \cdot 10^4$	–	–	–
	Канал	45	466000	0	$8,7 \cdot 10^3$	–	–	–

Наработка на отказ каналов при выполнении функций формирования сигналов аварийной защиты, предупредительной защиты и технологической сигнализации составляет 233000 ч. Отказов комплектов, каждый из которых включает в себя по 3 канала, не было.

Полученные данные превышают приведенные в технических условиях [2] на аппаратуру АКНП-ИФ, где значение наработки на отказ канала составляет 10000 ч.

Выводы

Результаты эксплуатационной надежности являются обратной связью в системе обеспечения качества и надежности для АЭС, которые позволяют решать ряд задач, связанных с эксплуатацией и модернизацией оборудования энергоблоков АЭС.

Полученные в данной работе результаты эксплуатационной надежности детекторов, используемых в разных типах АКНП, указывают на значительное повышение надежности детекторов, которые применяются в новых типах АКНП.

Данные о результатах эксплуатационной надежности использованы Национальным научным центром «Харьковский физико-технический инсти-

тут» для создания математических моделей детекторов нейтронного потока, а также для моделирования нейтронного потока АЭС.

Литература

1. *Photonis, S.A.S. Neutron and gamma detectors. Product's catalogue. [Text] / S.A.S. Photonis. – N.-Y., 2002. – 422 p.*
2. *Аппаратура контролю нейтронного потоку АКНП-ИФ. Технічні умови ТУ У 30.0-31393258-017:2006 А [Текст].*

Поступила в редакцию 5.03.2012

Рецензент: канд. техн. наук, доцент В.В. Скляр, НПП «Радий», Кировоград, Украина

ОЦІНКА ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ДЕТЕКТОРІВ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В АПАРАТУРІ КОНТРОЛЮ НЕЙТРОННОГО ПОТОКУ

С.О. Трубчанинов

Зібрано статистичні дані, по яких визначені показники експлуатаційної надійності детекторів нейтронного потоку, що функціонують разом з різними типами апаратури контролю нейтронного потоку: детекторів КНК-3, КНК-4, КНК-15 і детекторів CFUL08/F16. Результати експлуатаційної надійності є зворотним зв'язком в системі забезпечення якості та надійності для АЕС, які дозволяють вирішувати ряд завдань, пов'язаних з експлуатацією і модернізацією обладнання енергоблоків АЕС. Отримані результати експлуатаційної надійності детекторів, що використовуються в різних типах АКНП, вказують на значне підвищення надійності детекторів, які застосовуються в нових типах АКНП.

Ключові слова: детектор, апаратура контролю нейтронного потоку, показники надійності.

OPERATING RELIABILITY ASSESSMENT OF DETECTORS USED IN THE NEUTRON FLUX MONITORING EQUIPMENT

S.A. Trubchaninov

Captured statistical data, which are defined operating reliability measures of neutron flux detectors operated together with different types of neutron flux monitoring equipment: detectors KNK-3, KNK-4 KNK-and CFUL08/F16 detectors. Results of reliability is a feedback system to ensure quality and reliability for nuclear power plants, which allow to solve several problems related to operation and modernization of NPP equipment. The results are operational reliability of detectors used in different types of NFMS indicate a significant increase in the reliability of the detectors, which are used in new types of NFMS.

Key words: detector, neutron flux monitoring equipment, reliability measures.

Трубчанинов Сергей Александрович – младший научный сотрудник отдела анализа безопасности управляющих и информационных систем АЭС Государственного научно-технического центра по ядерной и радиационной безопасности, Харьков, Украина.