

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГЛАМЕНТНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КОМПЛЕКСА НБК-ОУ

Р.Л. Годун, А.А. Дорошенко, Д.А. Муляр

*Институт проблем безопасности атомных электростанций НАН Украины,
Чернобыль, Украина*

E-mail: ispnpp@ispnpp.kiev.ua; тел./факс (04593)5-14-34

По результатам комплексного анализа установлено, что система контроля ядерной безопасности (СКЯБ) не полностью соответствует выдвигаемым к ней требованиям. По оценке достаточности точек детектирования этой регламентной системы установлено, что отсутствует мониторинг скопления ядерно-опасных делящихся материалов (ЯОДМ) в центральной зале и «северного» скопления ЯОДМ в помещении 305/2. Эффективность мониторинга «ожного» скопления ЯОДМ в помещении 305/2 недостаточна и не соответствует нормам, регламентируемым «Правилами ядерной безопасности» (ПБЯ). Также не выполняется ряд других требований к СКЯБ как системы аварийной сигнализации хранилища отработанных ядерных отходов. Предлагается выполнить перекомпоновку измерительных каналов (ИК) системы, вывести из эксплуатации избыточные (неинформативные) ИК и использовать их оборудования для организации новых эффективных точек мониторинга; произвести модернизацию программного обеспечения и организовать индивидуальное заземление системы, чтобы снизить влияние высокочастотных наводок и помех.

ВСТУПЛЕНИЕ

Ядерная безопасность (ЯБ) комплекса Новый безопасный конфайнмент (НБК) может быть обеспечена только при наличии эффективного мониторинга нейтронной активности скоплений ядерно-опасных делящихся материалов (ЯОДМ) в помещениях объекта «Укрытие» (ОУ), образованного в результате тяжелой запроектной аварии на четвертом энергоблоке Чернобыльской АЭС.

СКЯБ Интегрированной автоматизированной системы контроля (ИАСК) успешно прошла метрологическую поверку/аттестацию и в 2014 г. введена в опытную, а с 2016 – в штатную/регла-

ментную эксплуатацию. СКЯБ ИАСК непрерывно (в автоматическом режиме) регистрирует плотность потока нейтронов ППН и мощность экспозиционной дозы (МЭД) внутри комплекса НБК-ОУ и накапливает результаты измерений в централизованной базе данных, в результате чего имеются непрерывные регулярные ряды данных, позволяющие выполнять анализ этих параметров. По результатам анализа непрерывного мониторинга ППН установлено, что в некоторых измерительных каналах (ИК) существуют периоды, когда отсутствуют измерения, а в некоторых ИК – присутствуют резкие скачки регистрируемой нейтронной активности (рис. 1).

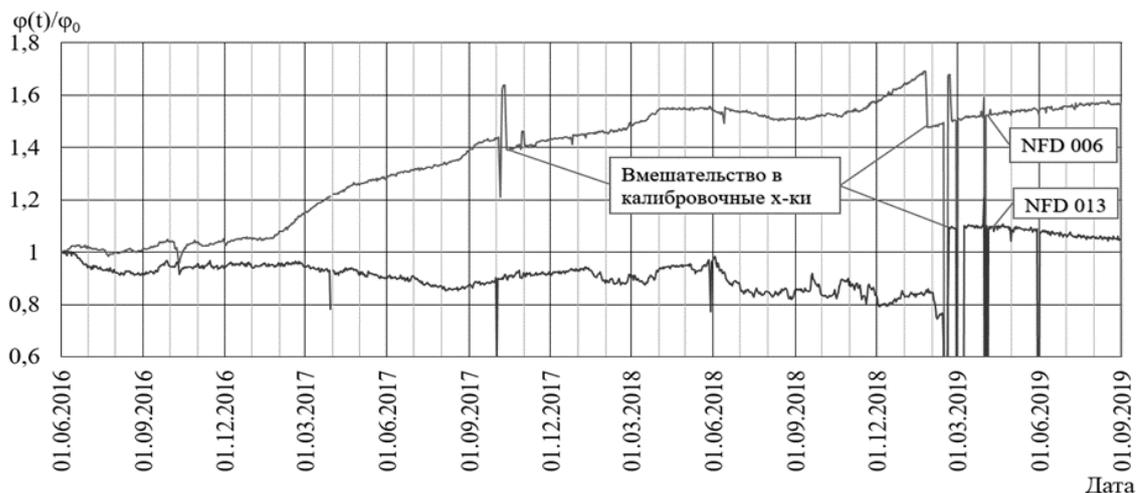


Рис. 1. Динамика ППН в ИК СКЯБ, в которых зафиксировано несанкционированное вмешательство оператора

Отсутствие измерений ППН связано с тем, что эти ИК выводятся из оперативного обслуживания, при этом отсутствует запасное/резервное оборудование, что не позволяет вести непрерывные измерения параметров, а также в случае выхода из строя элементов ИК восстановить их

работоспособность в течение регламентных 72 ч. Касательно резких изменений, регистрируемых ППН, то они не связаны с реальными физическими процессами внутри контролируемого объекта, а только – с вмешательством оперативного персонала. Эти скачки наиболее вероятно являются

результатом изменений дискриминационных характеристик в ИК СКЯБ (изменений порогов дискриминации) и/или несоблюдения точных координат установки блоков детектирования (БД) при их переустановке, что при сильной зависимости камеры деления (КД) от спектра нейтронов (оценивается по кадмиевому соотношению – R_{cd}) приводит к значительному изменению регистрируемой ППН [1].

В любом случае оба варианта подобных вмешательств в работу метрологически аттестованной системы ЯБ комплекса НБК-ОУ являются несанкционированным нарушением условий эксплуатации СКЯБ и должны быть в дальнейшем исключены.

Актуальность исследования по оценке эффективности работы СКЯБ в основном определяется тем, что на текущий момент вопросу ЯБ ОУ не уделяется должное внимание. Последний комплексный анализ ЯБ ОУ был выполнен в 2009 г. [2]. После этого оператор ГСП ЧАЭС предоставляет лишь короткие информационные отчеты [3–5], в которых проблеме ЯБ посвящено несколько (3–4) страниц. В этих отчетах приводится следующая информация: локализация точек мониторинга

регламентной СКЯБ, результаты измерений некоторых неинформативных ИК и указывается, что функцию оперативного контроля опасных изменений подкритичности возложено на Систему подачи раствора гадолия и Модернизированную систему пылеподавления. В выводах этих отчетов утверждается, что «...будь-яких аномалій чи інцидентів, пов'язаних зі зміною розмножуючих властивостей ПВМ, системами контролю за звітний період не зафіксовано...». Таким образом, игнорируется факт, что в нескольких ИК на протяжении уже более двух лет наблюдается постоянный рост ППН от 20 до 90% (рис. 2).

Если учитывать факт низкой исследуемости и контролируемости скоплений ЯОДМ (отсутствует непосредственный доступ к ним) в центральном зале (ЦЗ) и помещении 305/2, в котором по разным оценкам около 80 т отработанного ядерного топлива (ОЯТ) [6–8] (что более чем достаточно для образования критической композиции), то можно констатировать следующее: данная ситуация является неприемлемой, так как сейчас ОУ не соответствует общепринятым требованиям безопасности, выдвигаемым к комплексу НБК-ОУ (ядерно-опасному объекту).

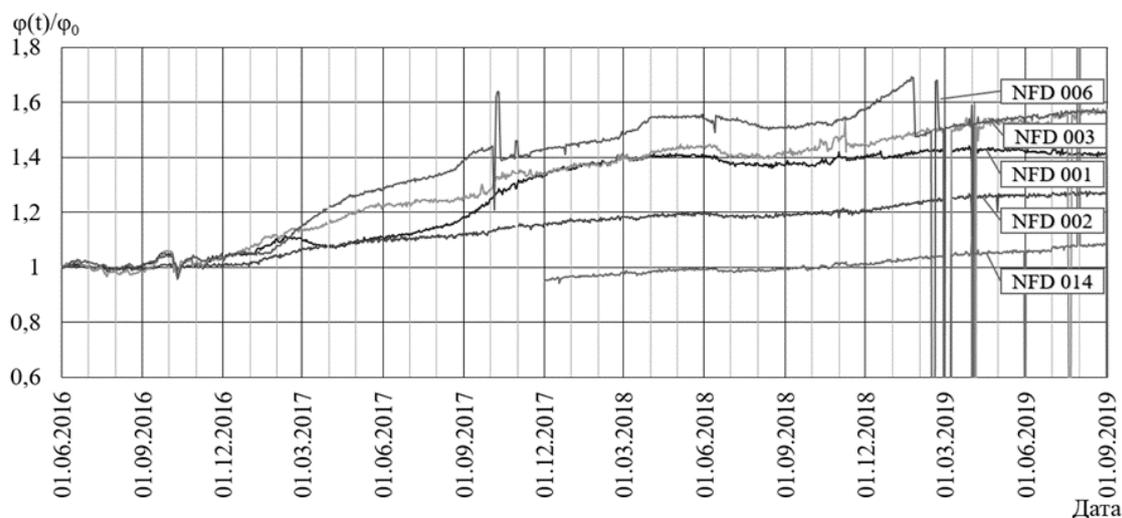


Рис. 2. Измерительные каналы с устойчивым ростом ППН

АНАЛИЗ СООТВЕТСТВИЯ СКЯБ РЕГЛАМЕНТИРУЮЩИМ ТРЕБОВАНИЯМ

Текущее состояние ОУ [9] квалифицируется следующим образом: «ОУ – разрушенный запроектной аварией 4-й блок ЧАЭС, который потерял все функциональные свойства энергоблока и на котором выполнены первоочередные мероприятия по уменьшению последствий аварии, а также продолжаются работы по обеспечению его ядерной и радиационной безопасности» [10]; ОУ в нынешнем его состоянии следует классифицировать как «... временное хранилище неорганизованных радиоактивных отходов (РАО), находится в стадии стабилизации и реконструкции» [11].

Из приведенных положений следует, что деятельность на ОУ (НБК) является деятельностью по обращению с РАО. Соответственно,

регулирование ее безопасности должно осуществляться на основе нормативно-правовых актов и научно-технической документации [12, 13], действующих в сфере обращения с РАО. Таким образом, для соблюдения основных принципов и характера технических и организационных мероприятий, направленных на достижение ядерной и радиационной безопасности, на комплекс НБК-ОУ распространяются «Правила ядерной безопасности» (ПБЯ) [14] и [15, 16]. ПБЯ-90/99 к СКЯБ как системе аварийной сигнализации в хранилище РАО (ядерно-опасном объекте) регламентируют следующие требования:

1. «Если ядерно-опасная зона включает совокупность отдельных зданий или смежных помещений, то БД и устройства аварийной сигнализации устанавливаются в тех зданиях и помещениях, где не исключена вероятность

возникновения самоподдерживающейся цепной реакцией (СЦР)» (п. 2.2.7).

2. Порог срабатывания систем аварийной сигнализации (САС) согласно п. 2.2.2 определяется требованием обнаружения минимальной СЦР, которая создает на расстоянии 1 м от места возникновения в отсутствие поглощающих экранов дозу, равную 0,25 Гр (25 рад) в течение не более 60 с (т. е. в течение принимаемой наибольшей длительности пика СЦР). При этом «пороги срабатывания в единицах ППН должны определяться с учетом энергетической зависимости их спектра и чувствительности БД» (п. 2.2.4).

3. Угловая зависимость эффективности БД регистрируемого излучения должна быть не более 25% и приведена в документации на указанные БД (п. 2.2.10).

4. САС должна быть спроектирована, изготовлена и размещена (смонтирована) таким образом, чтобы обеспечить ее надежную и длительную непрерывную эксплуатацию в производственных условиях (п. 2.5.1).

По результатам анализа СКЯБ сделаны следующие выводы:

1. Требования пункта 2.2.7 ПБЯ не выполняются, так как не реализовано наличие эффективных точек контроля во всех помещениях, где «не исключена вероятность возникновения СЦР». Более детальная информация представлена в разделе «Оценка достаточности и эффективности точек детектирования регламентной системы ядерной безопасности ОУ».

2. Требования п. 2.2.2 также не выполняются, что будет обосновано ниже. При этом согласно ПБЯ «если система основана на регистрации мощности дозы нейтронного излучения, то порог срабатывания не должен превосходить $1/r^2$ мГр/с (r – расстояние в метрах от места возможного возникновения СЦР до БД), а доза нейтронного излучения до момента срабатывания блока детектирования должна быть не более $3/r^2$ мГр». Требования п. 2.2.4 также не выполнены, ведь ППН в точках контроля должна определяться с учетом индивидуальной энергетической зависимости спектра и чувствительности каждого БД. Для БД СКЯБ (КД ФС216/2000/U²³⁵) не были получены спектральные зависимости в реальных условиях комплекса НБК-ОУ, а всего лишь на основании метода аналогии взяты уже существующие (построенные для КД КНТ-31). КД СКЯБ и КНТ-31 имеют ряд отличий в характеристиках/параметрах радиатора (активного слоя, состоящего из изотопов урана), поэтому это должно быть верифицировано (или оценено) экспериментально-расчетным путем.

3. Требования п. 2.2.10 не выполняются, ведь согласно технической документации [17] на СКЯБ эффективность БД имеет сильную угловую зависимость (при изменении пучка нейтронов на 90° отклик меняется почти в 7–8 раз).

4. Требования п. 2.5.1 не выполняются (см. рис. 1), к тому же отсутствие резервного оборудования (на данный момент в резерве всего лишь один неполный комплект для 19 ИК) в случае

единичного отказа оборудования не позволит обеспечить восстановление работоспособности системы в течение регламентируемых 72 ч.

ОЦЕНКА ДОСТАТОЧНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОЧЕК ДЕТЕКТИРОВАНИЯ РЕГЛАМЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ЯБ ОУ

СКЯБ представляет собой комплекс из 19 ИК, регистрирующих в точках контроля ППН и МЭД. При этом часть оборудования ИК (детекторы, предварительные и основные усилители и т. д.) была сконструирована для использования в штатных каналах контроля ППН атомных реакторов (оборудование рассчитано на большие потоки нейтронов), что не соответствует текущим условиям их эксплуатации.

Контроль МЭД (как параметра, сопутствующего нейтронной активности от скоплений ЯОДМ) неинформативен. Это связано с тем, что уровень МЭД гамма-излучением от актов деления и цепочек распада осколков деления на порядки ниже уровня, регистрируемого гамма-фона (точки мониторинга регламентной СКЯБ ИАСК находятся в полях со значениями МЭД в несколько сотен/тысяч рентген). Согласно выполненным расчетам при возникновении СЦР в регламентных точках мониторинга надежная регистрация изменения МЭД (детектируемое превышение над уровнем фона) возможна только при числе делений порядка $10^{15} \dots 10^{16}$, что (с учетом нарастающей кинетики/скорости в околоритической зоне) не позволяет использовать этот параметр для предотвращения возникновения СЦР [18].

В штатной системе ИАСК изначально не предусмотрен контроль температуры в местах скопления топливосодержащих материалов (ТСМ). Данный параметр контроля (температура) хотя и не является основным критерием в оценке состояния стабильности скоплений ТСМ, однако данные по температурным полям в помещениях ОУ дают общее представление о временных изменениях энерговыделения от скопления ТСМ и учитываются при оценках границ скоплений ТСМ.

В отчете по результатам анализа текущей безопасности ОУ [19–21] на основании экспериментальных и расчетных оценок была проведена классификация помещений по степени ядерной опасности скоплений ТСМ, находящихся в них. Потенциально ядерно-опасными были признаны: центральный зал (ЦЗ), южный бассейн выдержки (ЮБВ), шахта реактора и подреакторное помещения 305/2. В этих помещениях допускалось «существование композиций, в которых возникновение СЦР принципиально возможно».

В то же время текущий мониторинг ППН ТСМ внутри комплекса НБК-ОУ осуществляется (рис. 3) в следующих помещениях: реакторное пространство (на высотных отметках от +15,00 до +22,00) 305/2 (на отметках +12,00; +9,00); 304/3 (на отметке +10,00); парораспределительный коридор (на отметке +6,50); ЮБВ на отметках +19,00 и +22,00; в проходках под ЦЗ (на отметке +33,00).

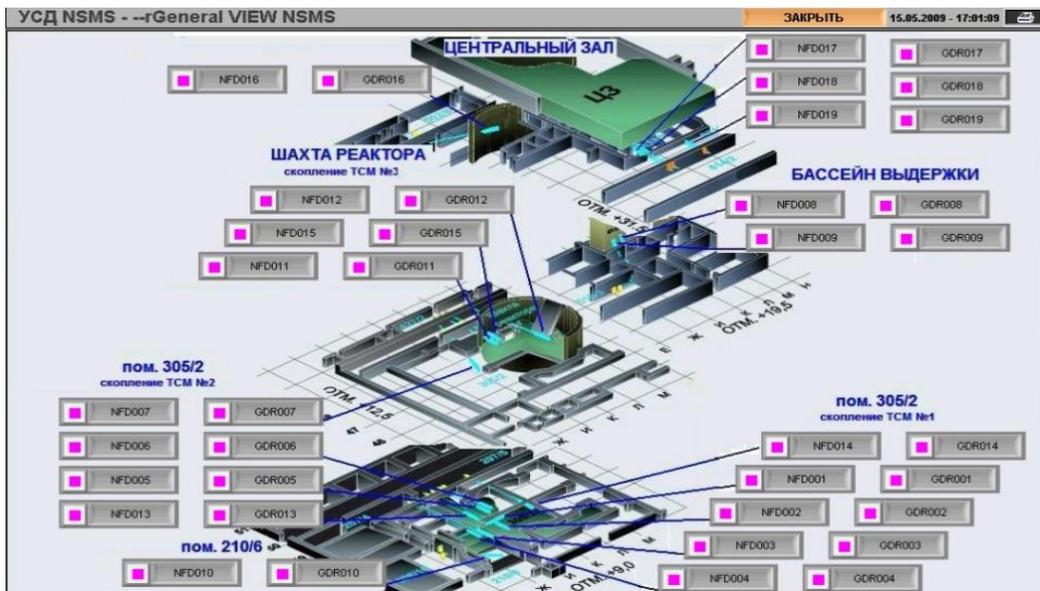


Рис. 3. Локализация точек мониторинга ИК ППН СКЯБ

Штатные точки детектирования СКЯБ, которые выбраны согласно рекомендациям от 2001 г. [23], в настоящее время в большей части неинформативны для целей обеспечения ЯБ, так как за последние 15 лет значительно изменились сведения о параметрах и локализации основных скоплений ЯОДМ. Сейчас самыми потенциально опасными являются ЦЗ и помещение 305/2 [22].

Предполагаемая область скоплений ЯОДМ в ЦЗ, требующая непрерывного контроля, ограничена следующими координатами: отметки от +35,00 до +37,00, осями от 40,00 до +46,00, рядами И – Н. БД ИК СКЯБ же расположены далеко от этой зоны, ближайшие нейтронные детекторы (ИК ППН №017, 018, 019) СКЯБ установлены в проходках под

нижним перекрытием ЦЗ (на отметке +33 м) и являются неинформативными из-за ослабления (как минимум в 10^3 раз) отклика КД на нейтронные события. Таким образом, БД СКЯБ не будут своевременно реагировать на изменения нейтронной активности при возможном возникновении СЦР, а скопления ТСМ в ЦЗ в настоящее время не контролируются.

Также СКЯБ практически не контролирует и «северное» скопление ЯОДМ в помещении 305/2, которое отчетливо видно на картах температурных полей (рис. 4). В зоне локализации этого потенциально ядерно-опасного скопления нет ни одной точки мониторинга.

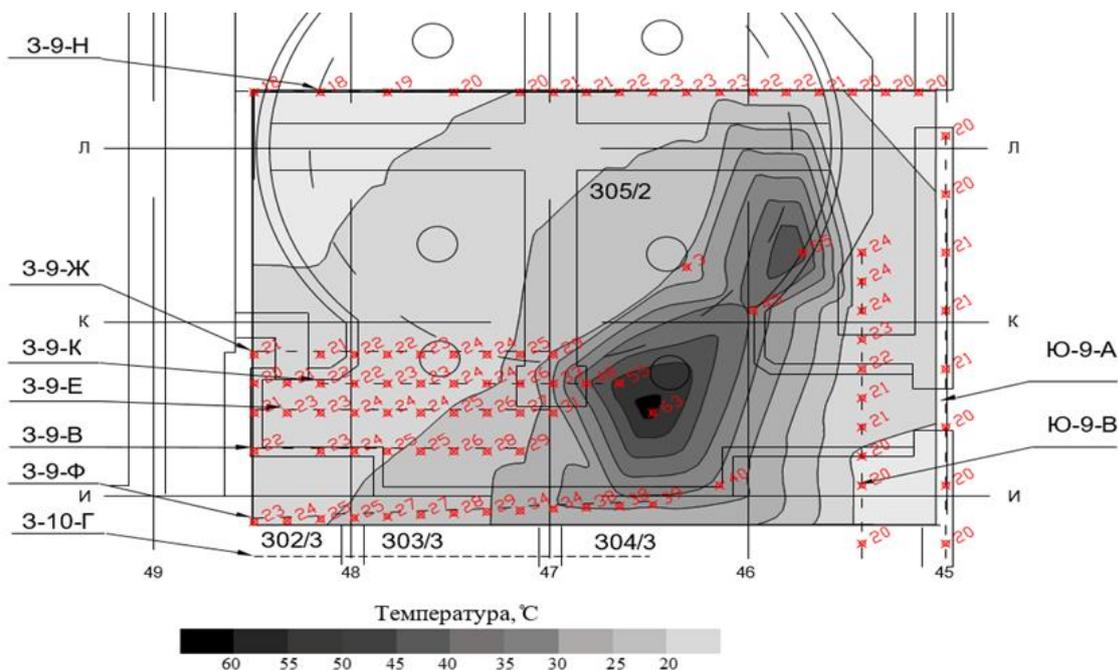


Рис. 4. Температурные поля в зоне локализации ЯОДМ (вид сверху на подреакторную плиту, отметка +9,00)

В зоне локализации «южного» скопления ЯОДМ в помещении 305/2 ближайшими к источнику являются БД ИК ППН №01, 03 и 04 (рис. 5), при этом:

1. Детектор ИК ППН №1 установлен через скважину Ю-12-78 (в пространстве над зоной размещения скопления ТСМ) на отметке +12,00 и средней раздела между БД и скоплением ЯОДМ являются: слой (0,6 м) черных ЛТСМ, слой (0,8 м) тяжелого бетона и 1,5 м воздуха.

2. Детектор ИК ППН №3 установлен в бетоне подреакторной плиты (в скважине З-9-Ф) на отметке +9,30 м и средней раздела между БД и скоплением ЯОДМ являются: слой (1,5 м) тяжелого бетона и слой (1,0 м) ЛТСМ.

3. Детектор ИК ППН №4 установлен в помещении 304/3 (через скважину З-10-Г) на поверхности ЛТСМ (отметка +9,70) и средней раздела между БД и скоплением ЯОДМ являются: слой (2,5 м) ЛТСМ или метровый слой тяжелого бетона.

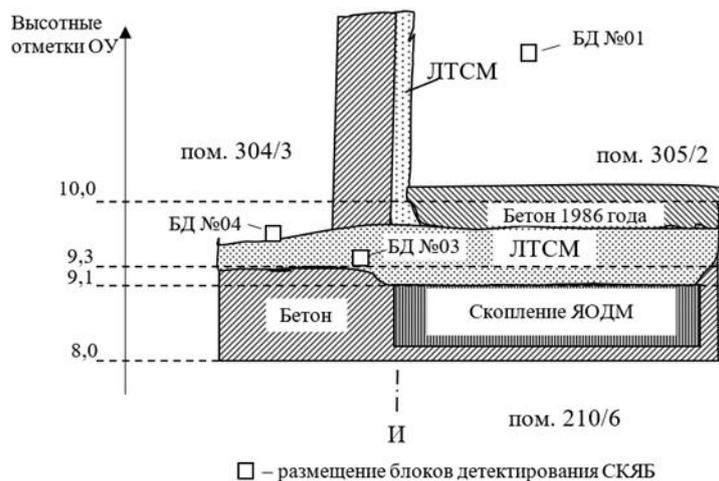


Рис. 5. Предполагаемое сечение в зоне локализации «южного» скопления ЯОДМ в помещении 305/2 с указанием локализации ближайших БД СКЯБ

Информационная достаточность получаемых данных о состоянии подкритичности скоплений ЯОДМ прежде всего зависит от места размещения детекторов относительно контролируемых

источников, ведь излучение нейтронов и гамма-квантов датчика (из-за их поглощения в ТСМ, конструкциях и т. п.) эффективно регистрируется только в ограниченной области (табл. 1).

Таблица 1

Максимальное значение порога срабатывания БД и максимальное расстояние от БД до места возможного возникновения СЦР при различных толщинах поглощающих материалов, расположенных между БД и местом возникновения СЦР [16]

Толщина поглощающего материала, м	Регистрируемое излучение – нейтроны, поглощающий материал – бетон					
	Максимальное расстояние от БД до места возможного возникновения СЦР, м			Максимальное значение порога срабатывания БД, мкРад/с		
	$\rho = 2,2$	$\rho = 3,2$	$\rho = 4,2$	$\rho = 4,2$	$\rho = 3,2$	$\rho = 4,2$
0	30	100	100	100	30	30
0,40	10	11	4	4	5	6
0,50	7	5	1	1	3	3
0,60	4	2	–	–	1	1
0,70	3	1	–	–	–	–

Примечание: ρ – это плотность материала в единицах т/м^3 , приведенные расстояния консервативно округлены до целых значений, допускается линейная интерполяция данных для определения промежуточных значений.

Таким образом, необходимо произвести расчеты с целью оценки соответствия точек детектирования СКЯБ требованиям пунктов 2.2.2–2.2.5 [15, 16]. При этом места размещения БД должны выбираться таким образом, чтобы избежать влияния на выбор порогов срабатывания значительного поглощения регистрируемого излучения конструкционными материалами, оборудованием, стенами помещений. Допускается пренебречь влиянием поглощения при его кратности не более 1,5. В случае невозможности устранить значительное поглощение излучения от

места возможного возникновения СЦР до блоков детектирования, последние необходимо приблизить к контролируемому оборудованию или снизить порог срабатывания системы таким образом, чтобы удовлетворились требования вышеуказанных пунктов.

По результатам оценок расстояния от «южного» скопления ЯОДМ до БД ИК СКЯБ, а также среды раздела между ними был сделан вывод, что эти точки детектирования не соответствуют регламентированным требованиям ПБЯ касательно

максимального расстояния от БД до места возможного возникновения СЦР.

В качестве промежуточных итогов можно утверждать, что существующая информационная мощность СКЯБ является недостаточной из-за отсутствия:

- точек контроля в зоне локализации скоплений ЯОДМ, «в которых возможно возникновение СЦР» (ЦЗ, «северное» скопление в помещении 305/2), а также низкой эффективности/информативности точек контроля в зоне локализации потенциально самого опасного «южного» скоплений ЯОДМ в помещении 305/2, в котором около 20 т ОЯТ в компактной композиции [22];

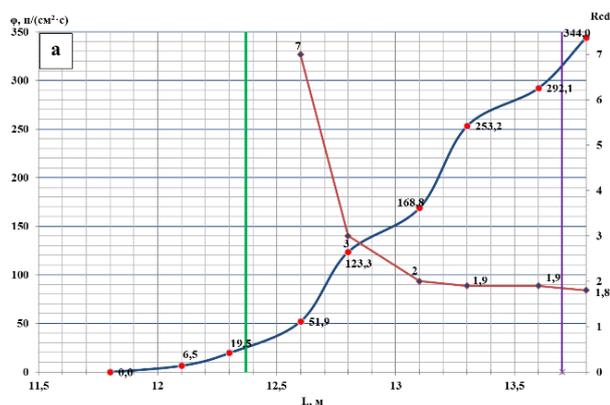
- дублирования точек детектирования в зоне локализации скоплений ЯОДМ (производственные помещения, места временного хранения ЯОДМ, в которых возможно возникновение СЦР, должны контролироваться не менее чем двумя независимыми БД. БД принимаются независимыми, если отказ любого из них не влияет на работоспособность других. Аварийная сигнализация должна срабатывать от любого из двух БД [16]).

Кроме анализа достаточности точек контроля СКЯБ был проведен анализ размещения каждого БД ИК СКЯБ, по результатам которого установлено следующее:

1. БД ИК ППН №01 (ИС Ю-12-78), 03 (ИС 3-9-Ф), 06 (ИС 3-9-68), 07 (ИС 3-16-61), 04 (ИС 3-10-Г), 10 (ИС Ю-9-Д), 11 (ИС 3-15-Д) и 15 (ИС 3-15-Ж) размещены в зоне локализации основных скоплений ЯОДМ, следовательно, могут быть использованы для контроля их подкритичности.

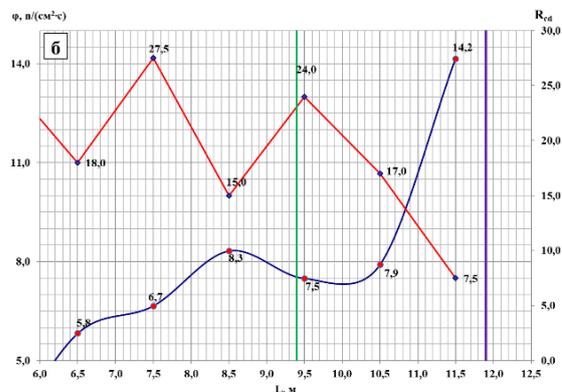
2. В связи с пространственной удаленностью от потенциально опасных скоплений ЯОДМ детекторы ИК ППН №05 (ИС 3-9-Ж), 08 (ИС В-21-96), 09 (ИС В-19-103), 12 (ИС 3-15-В), 14 (ИС 3-9-Ч), 16 (ИС 3-22-Б), ИК №17–19 являются практически неинформативными. Особенно это касается ИК №17–19, в которых отсутствует контролируемый параметр. БД этих ИК СКЯБ расположены на периферии скоплений ТСМ, в которых возникновение СЦР невозможно [18–22]. Таким образом, текущая схема точек детектирования СКЯБ избыточна, не эффективна и должна быть скорректирована.

Также следует отметить, что нейтронные детекторы и датчики МЭД ИК СКЯБ размещены в исследовательских скважинах, пробуренных в разных помещениях по всему объему комплекса НБК-ОУ. Для изоляции БД от негативного влияния воды ИС обсажены (герметизированы) трубами. В [24] показано, что при подготовке ИС для СКЯБ их доступная глубина существенно уменьшилась из-за их герметизации с помощью обсадных труб, следовательно, БД СКЯБ располагаются дальше от зон локализации скоплений ЯОДМ. В связи с этим несколько наиболее информативных точек были потеряны, так как из-за герметизации возникли ограничения по глубине возможной установки БД. Например, в ИК ППН №02 (ИС 3-9-К), 13 (ИС 3-15-В), 15 (ИС 3-15-Ж) была утеряна эффективность мониторинга в связи с невозможностью установки датчиков в информативных точках после выполнения обсадки ИС (рис. 6).



Зеленой линией отмечена текущая (определяемая глубиной обсадки) координата центра БД, фиолетовой – оптимальная

Рис. 6. Ожидаемые значения ППН и R_{cd} по длине ИС 3-9-К, в которой установлен БД ППН №02 (а) и для ИС 3-9-В БД ППН №13 (б)



Регистрируемая СКЯБ ППН получается путем умножения коэффициента чувствительности ИК на показания скорости счета в этом канале. Коэффициенты чувствительности каждого ИК ППН индивидуальны и оцениваются по измеренному значению R_{cd} в точке мониторинга, значения которого могут сильно изменяться по глубине ИС

(см. рис. 6). Последние измерения кадмиевых отношений (см. рис. 6) в ИС, в которых установлены детекторы СКЯБ, проводились в 1989–1990 годах. В связи с этим желательно заново провести работы по экспериментальному снятию R_{cd} в зависимости от глубины установки (от устья скважины) КД (рис. 7).

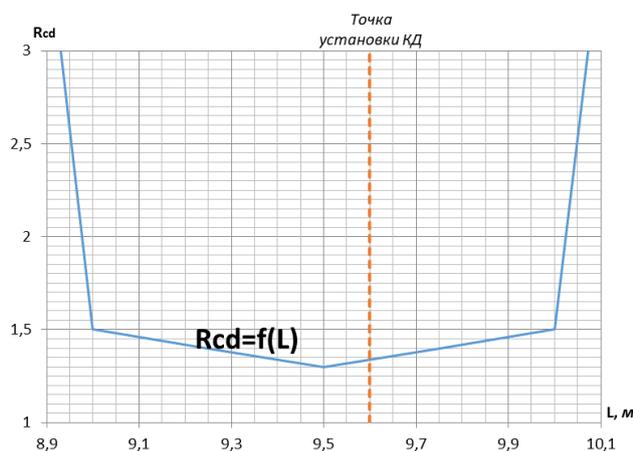


Рис. 7. Зависимость кадмиевого отношения от координат установки КД в ИК №05

РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРИВЕДЕНИЯ СКЯБ ИАСК В СООТВЕТСТВИЕ РЕГЛАМЕНТИРУЕМЫМ ТРЕБОВАНИЯМ, А ТАКЖЕ ПОВЫШАЮЩИЕ ЕЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Очевидно, что в зоне локализации каждого скопления ЯОДМ общее количество и размещение точек мониторинга СКЯБ определяются реальными возможностями их приближения к контролируемому источнику и финансовой целесообразностью. Наибольшая эффективность контроля была бы получена при установке детекторов непосредственно в объемах скоплений ЯОДМ, однако это является сложной и дорогостоящей технологической задачей, которая сейчас в сложившихся реалиях сложно решается.

Поэтому предложен комплекс оптимальных и экономически приемлемых мероприятий, позволяющих значительно увеличить эффективность СКЯБ и привести ее в соответствие регламентным требованиям.

1. Повышение эффективности СКЯБ возможно путем оптимизации/коррекции ИК и изменения локализации некоторых БД. Предлагается вывести из эксплуатации неинформативные (для целей обеспечения ЯБ) ИК ППН №12–19. «Освободившееся» оборудование этих ИК предлагается использовать для организации новых эффективных точек детектирования и/или как резервное для восстановления работоспособности информативных ИК.

2. Увеличение информативности СКЯБ может быть достигнуто вследствие максимального приближения размещения БД существующих ИК к источникам (табл. 2) и реализации новых информативных точек детектирования ППН (прежде всего в помещениях 305/2 и ЦЗ). Эффективность мониторинга нейтронной активности «южного» скопления ЯОДМ в помещении 305/2 может быть повышена путем извлечения обсадных труб из ИС 3-9-К, 3-9-Ж и дальнейшей переустановки расположенных в них БД в более информативные точки (расположенные ближе к источнику). Мониторинг нейтронной активности «северного» скопления ЯОДМ в помещении 305/2 может быть реализован после установки детекторов в помещении 307/2 через ИС 3-9-В и В-13-106.

Таблица 2

Параметры текущей обсадки ИС, используемых для установки БД СКЯБ

Номер ИК СКЯБ	Краткая характеристика скважины		Глубина установки детектора, м	Рекомендации
	Проектная глубина бурения, м	Реальная глубина обсадки, м		
ИК ППН №1	13,0	11,3	11,1	–
ИК ППН №2	12,5	12,6	12,4	–
ИК ППН №3	16,3	13,9	13,7	–
ИК ППН №4	>15	14,4	14,2	–
ИК ППН №5	13,7	9,8	9,6	–
ИК ППН №6	14,1	12,7	9,5	Переместить на 3 м (до упора)
ИК ППН №7	11,2	11,2	11,0	–
ИК ППН №8	10,76	10,5	10,2	–
ИК ППН №9	11,1	12,0	11,8	–
ИК ППН №10	14,5	12,2	11,1	Переместить на 0,9 м (до упора)
ИК ППН №11	12,5	14,2	14,0	–

3. Тестирование информативности/эффективности новых точек детектирования ППН предлагается выполнить с помощью работающей сейчас экспертной исследовательской системы Института проблем безопасности АЭС, и с учетом ее статуса выполнить эти работы намного целесообразней/проще.

4. Для надежного обеспечения мониторинга ППН и соответствия требованиям ПБЯ необходимо обеспечить дублирование/резервирование точек

контроля ППН. Также в зоне локализации потенциально самых опасных скоплений ЯОДМ (помещение 305/2 и ЦЗ) желательно реализовать такое количество информационных точек, чтобы выполнялось требование взаимного перекрытия контролируемых массивов ТСМ, что обеспечит возможность ремонта или технического обслуживания одного из детекторов. Следовательно, в зоне локализации каждого скопления ЯОДМ должно быть как минимум три БД. При этом

требование взаимного перекрытия контролируемых объемов ТСМ означает, что ожидаемая кратность ослабления отклика на аномалию на ближайших детекторах не должна превышать одного порядка. Степень взаимного перекрытия зон наблюдения детекторов предлагается оценивать экспериментально (с помощью кратковременного введения внешнего источника нейтронов в точки с определяемыми координатами). Такой подход вызван тем, что ослабления отклика детектора на источник являются сугубо индивидуальными для каждой информационной точки контролируемого объекта, что связано с различной «геометрией взаимного расположения источник–приемник» (разным расстоянием и угловой ориентацией), а также с различными поглощающими свойствами конкретной среды раздела между источником и БД.

5. Для надежности/непрерывности обеспечения ЯБ (мониторинга ППН) также необходимо приобрести несколько запасных комплектов ИК, чтобы в случае единичного отказа оборудования

можно было восстановить работоспособность ИК в течение регламентируемых 72 ч.

6. Предлагается схема размещения точек детектирования и маршруты доступа к ним (табл. 3) в ЦЗ, реализация которых позволит обеспечить функцию эффективного мониторинга состояния подкритичности в зонах размещения скоплений ЯОДМ. Оптимальными маршрутами доставки детекторов в точки детектирования №2–4 являются проходки в трубном накате кровли. Через эти проходки детекторы могут быть вывешены в заданных координатах (на высотных отметках от +36,00 до +37,00). Доставка детекторов в нижнее перекрытие может быть осуществлена через скважину Ю-22-129 из помещения 515/3. Подключение детекторов к системе мониторинга возможно через кабельные магистрали, выходящие в помещения 6004 и 208/10. Место размещения предусилителей должно определяться в рабочем порядке исходя из ограничений по длине допустимого расстояния между детектором и предусилителем.

Таблица 3

Размещение и маршруты доступа к точкам детектирования в зонах размещения потенциально ядерно-опасных скоплений ТСМ в ЦЗ

Номер точки	Параметр контроля	Координаты точки контроля		Маршрут доставки	Характеристики маршрута			Адрес выхода на кабельную магистраль	
		Отметка	Координаты		Начало	Координаты	Диаметр, мм	№ пом.	№ шкафа
1	ППН, МЭД	+35,00	К; 42	Наклонная скважина	515/3	И43; 22	127	208/10	Д11
2	ППН, МЭД	+37,00	К-Л; 45-46	Люк в кровле	Трубный накат	К-Л; 45–46; отм. +72,00	200	6004	Д5
3	ППН, МЭД	+37,00	Л-М; 45-46	то же	то же	Л-М; 44-45; отм. +72,00	200	6004	Д5
4	ППН, МЭД	+37,00	Л-М; 40-41	–“–	–“–	Л-М; 40-41; отм. +72,00	200	6004	Д5

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам комплексного анализа установлено, что СКЯБ (как система регламентного контроля ядерной безопасности ОУ – временного хранилища ОЯТ) не полностью отвечает выдвигаемым к ней требованиям, в частности: не обеспечен мониторинг всех скоплений ЯОДМ, в объеме которых возможно возникновение СЦР (ЦЗ и помещение 305/2); не соблюдено требование по максимальному расстоянию от БД до точки возможного возникновения СЦР; не оценены (не просчитаны) индивидуальные пороги срабатывания для конкретных точек детектирования; практически не выполнено требование, что «ППН в точках контроля должна определяться с учетом индивидуальной энергетической зависимости спектра и чувствительности каждого БД», так как не была верифицирована/подтверждена правомочность решения использовать характеристики других камер деления (КНТ-31). К тому же эффективность КД ИК ППН СКЯБ (FC216/2000/U²³⁵) имеет сильную угловую зависимость, значительно превышающую допустимую; отсутствует резервное/запасное оборудование, что в будущем, в случае единичного

выхода из строя ИК, неизбежно приведет к нарушению требования непрерывности измерений. Кроме того, фиксируются недопустимые нарушения правил/норм эксплуатации поверенной/аттестованной регламентной системы контроля ядерно-опасного объекта, а именно: несанкционированные вмешательства в измерительно-преобразовательные тракты ИК (изменения порогов дискриминации – коэффициентов затухания); в контролируемые государственные органы передаются неинформативные данные, при этом игнорируются опасные изменения динамики ППН, которые фиксируются на протяжении более двух лет.

Существуют и другие проблемы: измерительная аппаратура СКЯБ не обеспечена индивидуальной землей, а заземлена на общий контур ОУ, что существенно снижает помехоустойчивость ИК системы (в ИК присутствуют наводки/помехи); в процессе обсадки ИС были утеряны информативные точки, а существующие точки контроля являются неоптимальными.

Предложен комплекс оптимальных и экономически приемлемых первоочередных мероприятий, позволяющих значительно увеличить

эффективность СКЯБ и привести ее в соответствие регламентным требованиям.

Во-первых, по результатам комплексного анализа установлено, что существуют «избыточные» ИК, БД которых расположены вдали от скоплений ЯОДМ и не участвуют в функции обеспечения ЯБ ОУ. Следовательно, необходимо выполнить комплекс работ по оценке эффективности ИК СКЯБ, выводу из эксплуатации этих «избыточных»/неинформативных ИК и переконфигурации СКЯБ для организации новых эффективных точек мониторинга с возможностью использования этого освобожденного оборудования как резервного. Проверку информативности новых точек мониторинга можно выполнить с помощью экспертной исследовательской системы Института проблем безопасности АЭС.

Для повышения эффективности измерений ППН предлагается изменение координат установки (по глубине ИС) детекторов нейтронного излучения (см. табл. 2). Кроме того, необходимо провести оценочные расчеты достаточности точек контроля ИК СКЯБ с учетом требований пунктов 2.2.2–2.2.5 [16], а также оценить/рассчитать соответствие системы требованиям дублирования и условию перекрытия ядерно-опасных зон.

Также необходимо модернизировать программное обеспечение СКЯБ, для чего предлагается следующее: рассмотреть возможность введения новых фильтров для повышения помехоустойчивости (для надежной отбраковки заведомо ложных результатов измерений, вызванных высокочастотными наводками и помехами); для выявления опасных изменений подкритичности на ранних стадиях развития необходимы разработка и внедрение эффективной (с учетом двухслойной структуры скоплений ТСМ) процедуры идентификации опасных изменений уровня подкритичности в наиболее потенциально опасных скоплениях ЯОДМ, локализованных в помещении 305/2.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Исследование метрологических характеристик измерительных каналов СКЯБ ИАСК в условиях объекта «Укрытие» ГСП «Чернобыльская АЭС»: Отчет о НИР / ИПБ АЭС НАН Украины; рук. В.А. Краснов. Чернобыль, 2013, 44 с.
2. Обеспечение ядерной безопасности объекта «Укрытие»: Отчет ПО ЧАЭС, арх. №216-ОУ, Славутич, 2009.
3. Звіт про стан безпеки об'єкту «Укриття» за 2018 рік. ЦЕОУ(НБК) ДСП ЧАЕС. Славутич – 2019, 53 с.
4. Звіт про стан безпеки об'єкту «Укриття» за 2017 рік. ВПОУ ДСП ЧАЕС. Славутич – 2018, 56 с.
5. Звіт про стан безпеки об'єкту «Укриття» за 2016 рік. ВПОУ ДСП ЧАЕС. Славутич – 2017, 58 с.
6. В.О. Краснов, А.В. Носовський, В.М. Рудько, В.М. Щербін. *Об'єкт «Укриття»: 30 років після аварії*: Монографія. Чернобыль: Институт проблем безопасности АЭС, 2016, с. 512.

7. Е.Д. Высотский, В.А. Краснов, А.С. Лагуненко, Э.М. Пазухин. Топливо в помещении 305/2 4-го блока ЧАЭС. Критмассовые зоны. Уточнение сценария образования лавообразных топливосодержащих материалов // *Проблемы безопасности атомных электростанций и Чернобыля*. 2007, №8, с. 77-85.

8. А.В. Михайлов. Результаты расчетной оценки характеристик материальной среды ядерно-опасных скоплений НБК-ОУ ЧАЭС для версии их коридорного происхождения // *Проблемы безопасности атомных электростанций и Чернобыля*. 2018, №31, с. 59-67.

9. Технологический регламент объекта «Укрытие реактора блока №4 Чернобыльской АЭС» 1Р-ОУ, инв. №74 от 30.03.2011.

10. Заявление о политике регулирования ядерной и радиационной безопасности объекта «Укрытие» ПО Чернобыльская АЭС. Утверждено приказом Министра от 08.04.1998 г. № 49.

11. *Нормы радиационной безопасности Украины. Дополнение: Радиационная защита от источников потенциального облучения (НРБУ-97/Д-2000)*. Киев: Минздрав Украины, 2000, с. 84.

12. Перечень нормативных документов, действующих на ЧАЭС ЗПН-С, 1999, 97 с.

13. *Техническая оценка применения для объекта «Укрытие» перечня нормативно-правовых актов и нормативно-технических документов по ядерной и радиационной безопасности*: Реферат №023611-КНК, ГКАРУ, 2001, 13 с.

14. *Основные правила ядерной безопасности при переработке, хранении и транспортировании ядерно-опасных делящихся материалов*. ПБЯ-06-00-88. М.: Государственный комитет по использованию атомной энергии СССР. Государственная инспекция по ядерной безопасности, 1988.

15. *Правила проектирования и эксплуатации систем аварийной сигнализации о возникновении самоподдерживающейся цепной реакции и организации мероприятий по ограничению ее последствий (ПБЯ-06-10-91)*. Утверждены ГПАН СССР, 1991.

16. *Отраслевые правила проектирования и эксплуатации систем аварийной сигнализации о возникновении самоподдерживающейся цепной реакции и организации мероприятий по ограничению ее последствий (ПБЯ-06-10-99)*, МРФПАЭ, 1999.

17. СКЯБ. *Описание системы*. Идентификационный номер IAMS-NSMS-GS-3101-R. Ansaldo Nucleare, 2005, с. 41.

18. А.А. Borovoy. *The Shelter's Current Safety Analysis and Situation Development Forecasts (Updated version)*. Tacis, 1998, p. 104.

19. *Анализ текущей безопасности объекта «Укрытие» и прогнозные оценки развития ситуации*: Отчет о НИР (заключит.) / МНТЦ «Укрытие» НАН Украины; отв. исполнит. А.А. Боровой. Арх. №3836. Чернобыль, 2001, 337 с.

20. *Модельные и экспериментальные исследования эффективности нейтронного контроля топливосодержащих материалов в зонах*

критмассового риска: Отчет по НИР / ИПБ АЭС НАН Украины; рук. А.А. Ключников. Инв. №3886. Чернобыль, 2007.

21. *Анализ текущей безопасности объекта «Укрытие» и прогнозные оценки развития ситуации*: Отчет о НИР (заключит.) / МНТЦ «Укрытие» НАН Украины; отв. исполнит. А.А. Боровой. Арх. №3601. Чернобыль, 1996, 272 с.

22. В.О. Краснов, Р.Л. Годун. Стан паливо-вмісних матеріалів усередині НБК «Арка» та проблеми, що пов'язані із забезпеченням їхньої ядерної та радіаційної безпеки // *Проблеми безпеки*

атомних електростанцій і Чорнобиля. 2019, №32, с. 22-29.

23. *Определение новых информативных мест размещения блоков детектирования. Верификация скважин*: Отчет о НИР / МНТЦ «Укрытие» НАН Украины; рук. В.Н. Щербин. Инв. №3808. Чернобыль, 2001, 131 с.

24. А.И. Довыдьков, В.А. Краснов, С.А. Довыдьков. О возможности использования исследовательских скважин для контроля топливосодержащих материалов в центральном зале объекта «Укрытие» // *Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля*. 2006, №6, с. 140-144.

Статья поступила в редакцию 18.02.2020 г.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РЕГЛАМЕНТНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯДЕРНОЇ БЕЗПЕКИ КОМПЛЕКСУ НБК-ОУ

Р.Л. Годун, А.О. Дорошенко, Д.О. Муляр

За результатами комплексного аналізу встановлено, що система контролю ядерної безпеки (СКЯБ) у повному обсязі відповідає висунутим до неї вимогам. За оцінкою достатності точок детектування цієї регламентної системи встановлено, що відсутній моніторинг скупчень ядерно-небезпечних матеріалів, що діляться (ЯНДМ), у центральному залі і «північного» скупчення ЯНДМ в приміщенні 305/2. Ефективність моніторингу «південного» скупчення ЯНДМ у приміщенні 305/2 недостатня і не відповідає нормам, що регламентуються «Правилами ядерної безпеки» (ПЯБ). Також не виконується ряд інших вимог до СКЯБ як системи аварійної сигналізації сховища відпрацьованих ядерних відходів. Пропонується виконати перекомпонування вимірювальних каналів (ВК) системи, вивести з експлуатації надлишкові (неінформативні) ВК і використовувати їх обладнання для організації нових ефективних точок моніторингу; провести модернізацію програмного забезпечення та організувати індивідуальне заземлення системи, щоб знизити вплив високочастотних наведень і перешкод.

THE EFFICIENCY ASSESSMENT OF THE STATE SYSTEM OF NUCLEAR SAFETY CONTROL OF NSC-SO

R.L. Godun, A.O. Doroshenko, D.O. Muliar

According to the results of a comprehensive analysis, it was found that the nuclear safety monitoring system (NSMS) does not fully comply with the requirements put forward to it. By assessing the sufficiency of the detection points of this monitoring system, it was found that there is no monitoring at the cluster of nuclear fissile materials (NFM) in the central hall and at the "northern" cluster in 305/2 rooms. The effectiveness of monitoring the "southern" cluster of NFM in the room. 305/2 is insufficient and does not comply with the standards regulated by the rules of nuclear safety. Also, a number of other requirements to the NSMS (as the emergency alarm systems of the spent nuclear waste storage facility) are not fulfilled. It is proposed to re-arrange the measuring channels (MC) of the system, decommission excess (non-informative) MC and use their equipment to organize new effective monitoring points; to upgrade the software and arrange individual ground of the system to reduce the influence of high-frequency interference.