

ОСОБЕННОСТИ КОНТРОЛЯ ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ» В ПЕРИОД СООРУЖЕНИЯ НОВОГО БЕЗОПАСНОГО КОНФАЙНМЕНТА**Е. Д. Высотский, А. И. Довыдьков, В. А. Краснов, В. Н. Щербин***Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль*

Приведены основные факторы, влияющие на эффективность контроля ядерной безопасности объекта «Укрытие» в период сооружения нового безопасного конфайнмента. Показано, что действующие регламентные системы контроля и новая интегрированная автоматизированная система контроля (ИАСК) не обеспечивают требуемой эффективности контроля ядерной безопасности. Предложено, наряду с регламентным контролем, использовать, в качестве резервной, исследовательскую систему, позволяющую оперативно выявлять причины аномальных показаний в каналах контроля нейтронной активности. Дано обоснование необходимости размещения нейтронных детекторов непосредственно в зоне ядерно-опасных скоплений, систематизации контроля динамики температурных полей в зонах скоплений топливосодержащих материалов и оптимизации пороговых уровней в системах контроля.

Ключевые слова: объект «Укрытие», топливосодержащие материалы, контроль ядерной безопасности.

Введение

В настоящее время основное внимание на ЧАЭС уделяется строительству нового безопасного конфайнмента (НБК), который должен создать дополнительные барьеры, препятствующие распространению радиоактивных веществ в окружающую среду. Однако по результатам анализа, проведенного специалистами ИПБ АЭС НАН Украины и ГСП ЧАЭС, сделан вывод, что сооружение НБК не решает в полной мере вопроса ядерной и радиационной безопасности объекта «Укрытие», пока внутри него будут оставаться скопления топливосодержащих материалов (ТСМ) с неопределенным состоянием [1]. В проекте НБК отсутствуют технические решения по обращению с ТСМ, в частности их извлечение, кондиционирование и захоронение или длительное контролируемое хранение. Локализация и исследование скоплений ТСМ в объекте «Укрытие» остаются важной задачей преобразования его в экологически безопасную систему.

Сооружение НБК не решает также и основные проблемы обеспечения надежного и достоверного контроля динамики ядерно-физических параметров в зонах скопления ТСМ. Поэтому повышение эффективности контроля ядерной безопасности остается актуальной проблемой. Именно в этих направлениях в ИПБ АЭС НАН Украины ведутся работы, связанные с исследованием эффективности нейтронного контроля подкритичности ТСМ и практической реализацией функций безопасности, обеспечивающих принцип «предотвращения» самоподдерживающейся цепной реакции (СЦР), путем раннего обнаружения и подавления подкритических аномалий [2].

Контроль нейтронной активности в зонах ядерно-опасных скоплений ТСМ

Особый интерес представляет скопление ТСМ в юго-восточном секторе помещения 305/2, где температура подреакторной плиты в зимний период превышает температуру в реакторном пространстве на 15 - 20 градусов, что свидетельствует о мощном тепловыделении в этой зоне. Именно здесь были зарегистрированы критический инцидент 1990 г. и нейтронные аномалии 1996 и 2000 гг. Проведенные исследования и моделирование подтверждают, что в этом скоплении ТСМ концентрация топлива может превышать 40 %, а наличие там воды и бетонного отражателя нейтронов свидетельствует о высокой вероятности возникновения СЦР [3]. Выявление ядерно-опасных скоплений ТСМ и обеспечение их надежного контроля являются необходимым требованием обеспечения ядерной безопасности объекта «Укрытие» после возведения НБК.

© Е. Д. Высотский, А. И. Довыдьков, В. А. Краснов, В. Н. Щербин, 2011

Контроль динамики уровня подкритичности требует непрерывного контроля нейтронной активности, а также динамики сопутствующих параметров: мощности экспозиционной дозы (МЭД) и температуры. Эти задачи предполагается возложить на новую интегрированную автоматизированную систему контроля (ИАСК), которая, как предполагается, должна заменить действующие регламентные системы контроля «Финиш-Р» и «СК ТСМ».

Однако следует учитывать, что в настоящее время фактически отсутствует доступ непосредственно к скоплениям ТСМ. Основным местом установки датчиков систем контроля являются исследовательские скважины, которые бурились в 1988 - 1990 гг. Из-за отсутствия технологии «горячего» бурения, связанного с извлечением высокоактивных кернов, бурение скважин прекращалось еще на подступах к ТСМ. За прошедшее время многие скважины разрушились и непроходимы. В качестве примера на рис. 1 показано положение нейтронных детекторов в юго-восточном секторе помещения 305/2. Все детекторы нейтронов располагаются на периферии ядерно-опасного скопления ТСМ и экранируются от ТСМ толстым слоем бетона, строительных конструкций и фрагментов засыпки. Поэтому они фактически контролируют суммарные (фоновые) параметры МЭД и нейтронных потоков. Моделирование динамики нейтронной активности в ядерно-опасном скоплении ТСМ в помещении 305/2 показало, что детекторы нейтронов, расположенные в этой зоне, практически не будут реагировать на изменения размножающих свойств среды на начальном периоде развития СЦР [4].

Следует также учесть, что при подготовке скважин под установку датчиков ИАСК проводилась их обсадка металлическими трубами. При этом доступная глубина скважин уменьшилась. Теперь нейтронные детекторы будут экранироваться от ТСМ еще более толстым слоем бетона, толщина которого местами превышает 1,5 - 2 м (см. рис. 1). По сути информативность всех основных точек контроля в результате подготовки их к установке датчиков ИАСК снизилась. Это делает проблематичным раннее обнаружение опасных аномалий в скоплениях ТСМ. Фактически надежный контроль ядерной безопасности объекта «Укрытие» после ввода в эксплуатацию ИАСК не будет обеспечиваться. Поэтому подсистема контроля подкритичности, предусмотренная в составе ИАСК, нейтронные детекторы которой размещаются на периферии по принципу простого перекрытия зон скоплений ТСМ, не обеспечит выполнение своих функций раннего обнаружения ядерной опасности. Детекторы должны располагаться в непосредственной близости от ТСМ (идеально внутри скопления ТСМ).

Локализация скоплений ТСМ

Остается и другая важная проблема, связанная с дальнейшим преобразованием объекта «Укрытие». Было отмечено [1], что основной целью всех мероприятий по преобразованию объекта «Укрытие» в экологически-безопасную систему (в том числе и работ, связанных с НБК) является «...защита персонала, населения и окружающей среды от опасности ядерных и радиоактивных материалов путем их извлечения, изоляции и захоронения». Поэтому актуальными остаются задачи локализации скоплений ТСМ, оценки их объемно-массовых характеристик, определения концентрации топлива, поиск путей доступа к этим скоплениям, обеспечение надежного контроля динамики их параметров. Первоначально именно для решения этих задач стали проводить бурение исследовательских скважин в 1988 - 1990 гг., когда все другие попытки получить необходимую информацию о распределении топлива в помещениях объекта «Укрытие» не дали желаемых результатов.

Эффективным методом локализации ТСМ является исследование динамики температурных полей. Основным источником тепла в зонах скоплений ТСМ является остаточное тепловыделение (ОТВ). Температурные поля в этих зонах несут важную информацию о свойствах среды и позволяют оценить объемы и массу топлива, прогнозировать параметры ТСМ. К сожалению, в регламентной системе «Финиш-Р» число датчиков температуры мало, определение температурных градиентов по глубине скважин не проводится. В ИАСК тоже

отсутствует контроль тепловых параметров ТСМ, показывающих температурную динамику ОТВ, а следовательно, концентрацию и массу ядерного топлива в зонах контроля.

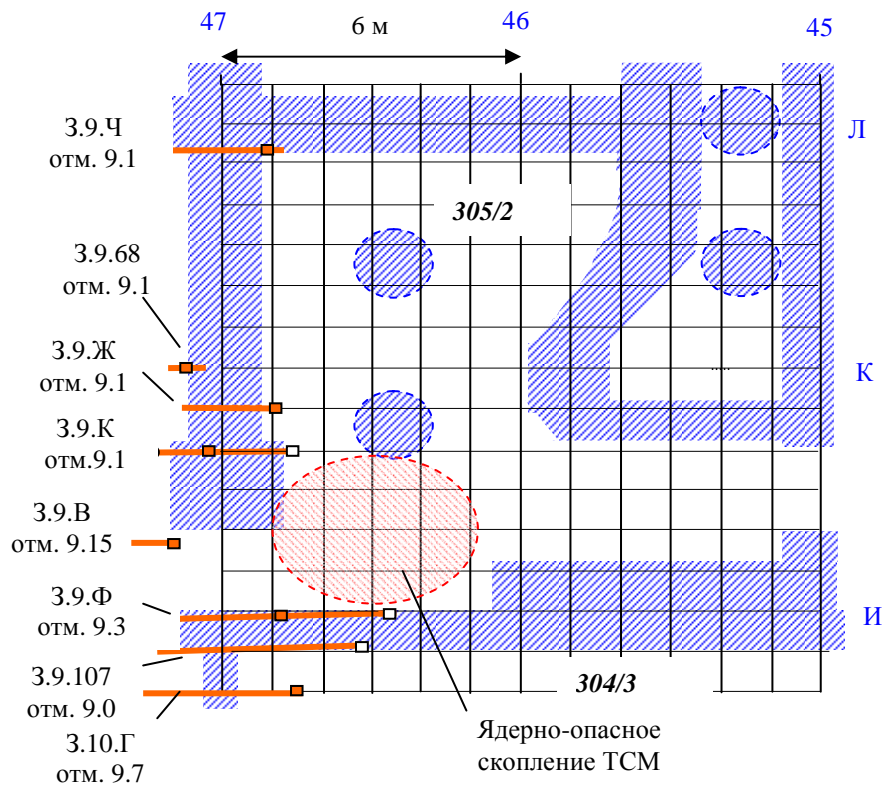


Рис. 1. Расположение детекторов нейтронов, в зоне ядерно-опасного скопления ТСМ:
 □ - детекторы нейтронов регламентных систем контроля (до 2010 г.);
 ■ - детекторы нейтронов ИАСК (проект).

Показательным является подреакторное помещение 305/2. Много лет считалось, что ядерное топливо в этой зоне равномерно распределено по объему, а его концентрация в лавообразных ТСМ не превышает 8 - 10 % [5]. Однако накопление новых данных, анализ динамики температурных полей и состава кернов, извлеченных из скважин, показали, что в этой зоне могут быть скопления ТСМ с высокой концентрацией топлива (более 40 %). Это заставило пересмотреть оценку ядерной безопасности объекта «Укрытие». Важно также учесть, что из-за отсутствия доступа в глубину скоплений ТСМ, основным методом прогнозирования изменения параметров ТСМ является моделирование. Согласование динамики тепловыделения в модели и накопленных многолетних результатов измерений температуры является важным критерием корректности моделирования. На рис. 2 показана динамика ОТВ и температуры подреакторной плиты. На основе анализа температурных полей были определены границы ядерно-опасной зоны в помещении 305/2, объем и содержание топлива. А результаты моделирования хорошо совпали с данными измерений [4].

В настоящее время основные сведения по температурным полям в помещениях объекта «Укрытие» получают фактически только от датчиков исследовательской системы «Финиш» [6]. Сейчас эта система контролирует динамику температуры в более чем 40 контрольных точках. Объем контроля может изменяться в зависимости от задач исследований. В частности, с 2008 г. проводится регулярный контроль динамики температуры пола центрального зала. С 2009 г. ведется контроль температуры у северной границы юго-восточного сектора помещения 305/2, а также температурных градиентов в зоне «прожога» северной стены в помещении 304/3. Важным фактором, влияющим на возможность возникновения СЦР, является залив водой ядерно-опасных скоплений ТСМ, которые существуют или могут обра

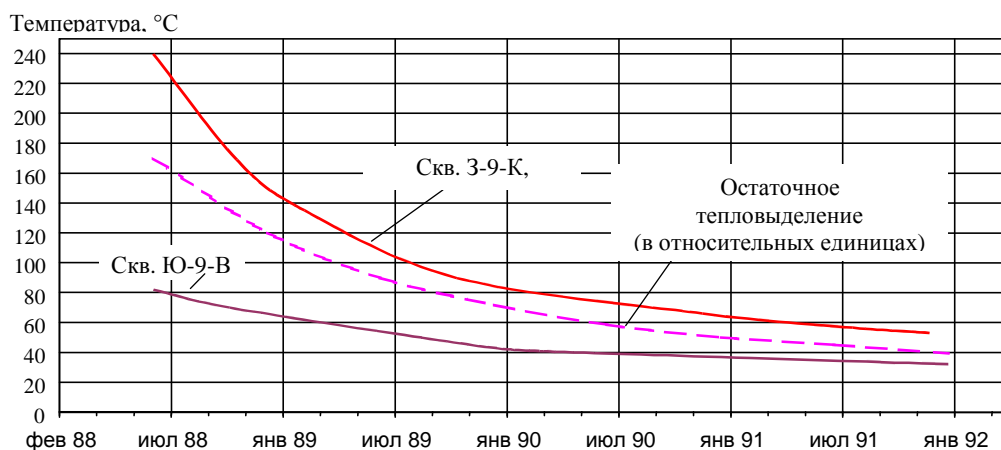


Рис. 2. Динамика остаточного тепловыделения и спада температуры в подреакторной плите (помещение 305/2).

зываются в результате неконтролируемых перемещений ТСМ. Сток подогретой ОТВ воды из ядерно-опасного скопления ТСМ в помещении 305/2 косвенно контролируется динамикой температурных градиентов в скважинах подреакторной плиты, в частности, в скважине Ю.9.Б. На рис. 3 показано положение датчиков температуры в подреакторной плите.

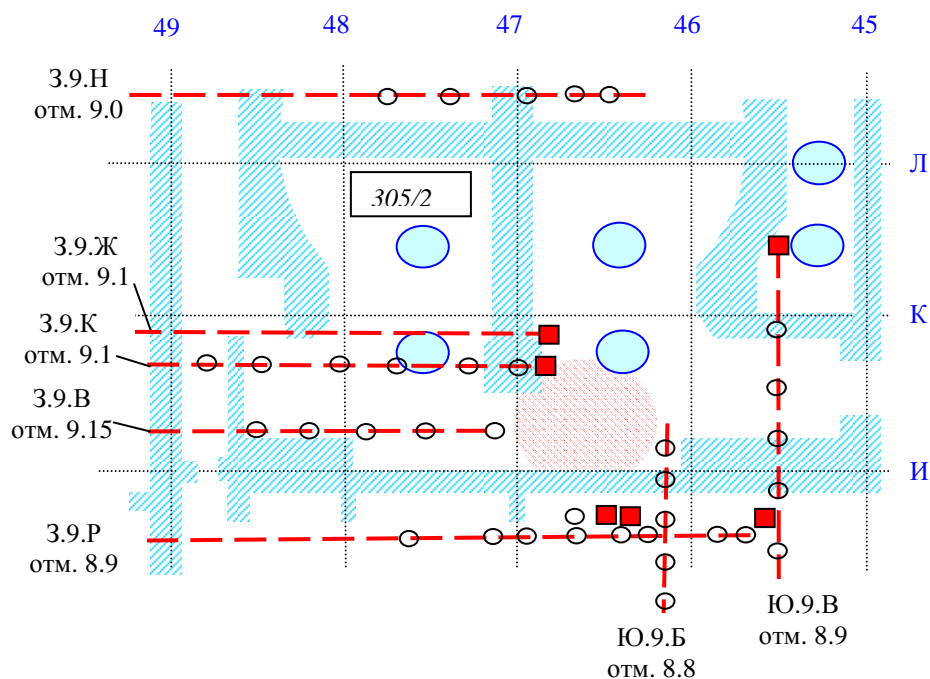


Рис. 3. Датчики температуры в районе ядерно-опасного скопления ТСМ:
 ○ - датчики температуры системы «Финиш»; ■ - датчики температуры «СК ТСМ» и «Финиш-Р».

Повышение надежности контроля ТСМ

Другая проблема связана с тем, что сварочные, монтажно-строительные и другие работы, проводимые на объекте «Укрытие», являются источником электромагнитных помех. Это повышает вероятность сбоев, особенно в каналах контроля нейтронной активности. При строительстве и вводе в эксплуатацию НБК интенсивность таких работ и создаваемых ими помех еще больше усложнит работу систем контроля. Это потребует принятия дополнительных мер по повышению их помехозащищенности. До сих пор такие меры фактически не планировались и не проводились. Сейчас на объекте «Укрытие» существует только один контур заземления, на котором «сидят» и измерительные каналы, и сварщики. Поэтому при

работе мощного промышленного оборудования нередко «зашкаливают» показания нейтронных детекторов. Это приводит к частым ложным сигналам «авария».

Для оперативного анализа аномальных показаний в системах контроля должны быть предусмотрены специальные меры. В частности, эффективным способом отсеивания недостоверных показаний является оперативный анализ формы сигналов, поступающих от нейтронных детекторов. Такой возможности в регламентных системах нет. В исследовательской системе «Финиш» алгоритм измерений более гибкий. Дежурный оператор может поменять конфигурацию контролируемых параметров, просмотреть на осциллографе характер сигналов от датчиков и принять необходимые меры по предотвращению ложных сигналов тревоги. Кроме того, в системе предусмотрены и программные алгоритмы отсеивания недостоверных результатов контроля.

Необходимо, чтобы в период сооружения НБК контроль ядерной безопасности, кроме штатной ИАСК, выполнялся также и другой (резервной исследовательской) системой с более гибким режимом измерений и возможностью оперативного анализа ситуаций. Это особенно важно при выявлении причин аномальных отклонений в каналах контроля нейтронной активности. Такая система может быть создана на базе существующей ИИС «Финиш», которая работает на объекте «Укрытие» с 1988 г., имеет разветвленную сеть датчиков, кабельных коммуникаций, опытный персонал, большую базу данных о динамике параметров ТСМ. Информативность этой системы можно еще более увеличить, передав ей датчики и контрольные точки от «Финиш-Р» и СК ТСМ, которые планируется вывести из регламентной эксплуатации после создания ИАСК. Такая резервная система позволит в аномальных ситуациях получать информацию, дублирующую и дополняющую регламентный контроль объекта. На базе этой системы можно отрабатывать технические решения по повышению эффективности контроля ТСМ, проводить метрологическую проверку новых каналов и методик. Аналогичные работы уже проводились при создании «Финиш-Р».

Другая проблема, также связанная с вероятностью ложных сигналов тревоги, это назначение пороговых уровней на контролируемые параметры. В Технологическом регламенте объекта «Укрытие» (п. 5.1.2 ТР-ОУ) за критические уровни принимаются значения плотности потока нейтронов (ППН) в точках контроля, с учетом максимальных отклонений результатов измерений от средних значений, зафиксированных в течение года [7]. При этом, однако, не указывается временной интервал осреднения результатов измерений. Поэтому для каждой системы контроля (СК ТСМ и «Финиш-Р») используют разный подход определения пороговых значений. В системе «Финиш-Р» за результат измерения принимается среднее значение за сеанс измерений (за 10 мин), а в СК ТСМ значение контролируемого параметра фиксируется каждые 15 с цикла измерения.

Данные о ППН являются случайной величиной. На рис. 4 показан график показаний ППН, фиксируемый в СК ТСМ каждые 15 с и график значений ППН с двухминутным циклом осреднения. Видно, что максимальные отклонения контролируемых параметров и пороговые уровни будут отличаться в зависимости от интервала осреднения.

Конечно, нет необходимости анализировать каждое мгновенное значение и принимать решения каждые 15 с. Ведь за это время нереально выполнить необходимый объем действий по сигналу тревоги, а вероятность ложной тревоги при этом очень велика. Для определения пороговых уровней необходимо выбирать рациональный интервал осреднения как с учетом своевременной аварийной сигнализации, так и с учетом уменьшения ложных тревог. В частности, для оптимизации систем контроля можно использовать математический аппарат минимизации средних рисков от ошибок первого и второго рода [8]. Возможности аппаратуры ИАСК позволяют накапливать и оперативно анализировать большой объем информации. Необходимо разработать специальную методику обработки статистических данных для рационального назначения и своевременной корректировки пороговых значений контролируемых параметров, а также для эффективного отсеивания недостоверных показаний в каналах контроля ТСМ.

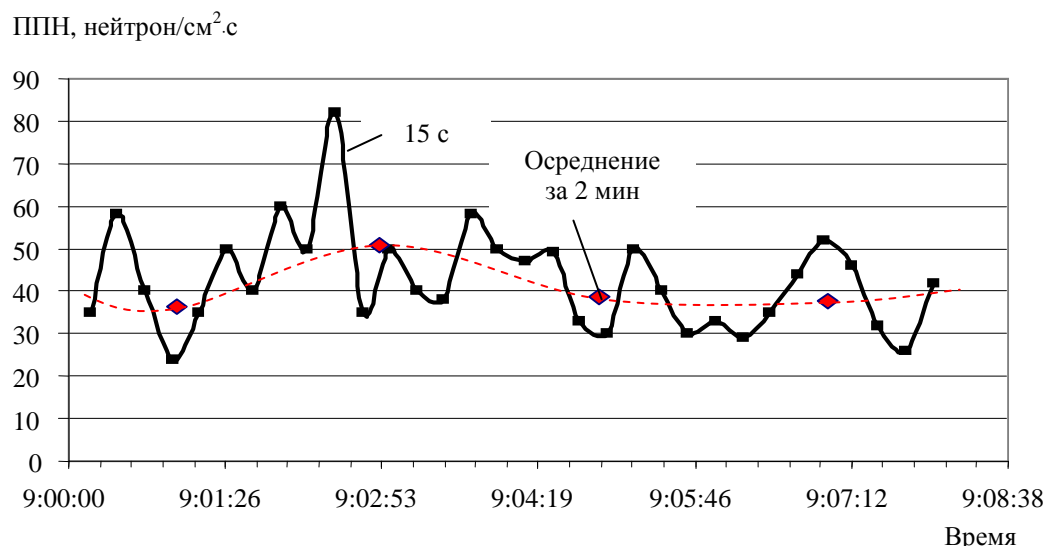


Рис. 4. Показания датчика потока нейтронов № 6 СК ТСМ при регистрации через 15 с и при осреднении результатов за 2 мин.

Выводы

1. Надежный контроль ядерной безопасности объекта «Укрытие» в настоящее время не обеспечивается, так как нейтронные детекторы располагаются на периферии ядерно-опасных скоплений ТСМ и фактически контролируют суммарные фоновые параметры МЭД и нейтронных потоков. Для своевременного обнаружения нейтронных аномалий они малоэффективны.

2. В новой интегрированной системе контроля используют контрольные точки еще более удаленные от ядерно-опасных скоплений ТСМ. Поэтому ИАСК тоже не решает в полной мере задач обеспечения надежного и достоверного контроля динамики ядерно-физических параметров ТСМ. Актуальной задачей остается обеспечение доступа непосредственно к ядерно-опасным скоплениям ТСМ, например путем реализации технологии «горячего» бурения.

3. В период сооружения НБК увеличится интенсивность сварочных и других работ, связанных большими электромагнитными помехами. Это еще более усложнит работу систем контроля ТСМ, повысит вероятность помех и сбоев в каналах контроля нейтронной активности. Поэтому нужны дополнительные меры по повышению их помехозащищенности. В частности, необходимо, чтобы контроль ядерной безопасности объекта «Укрытие», кроме регламентной ИАСК, выполнялся также и другой, более гибкой, резервной системой. Это особенно важно для оперативного выявления причин аномальных отклонений в каналах контроля нейтронной активности.

4. Такая резервная система может быть создана на базе существующей ИИС «Финиш», которая работает на объекте «Укрытие» с 1988 г., имеет разветвленную сеть датчиков, кабельных коммуникаций, большую базу данных о динамике параметров ТСМ. Информативность этой системы можно увеличить, передав ей датчики и контрольные точки от «Финиш-Р» и «СК ТСМ», которые планируется вывести из регламентной эксплуатации после создания ИАСК.

5. Изменения температурных полей несут важную информацию о динамике тепловыделения ТСМ, расположении, количестве и концентрации в них ядерного топлива. Поэтому в системах контроля ядерно-физических параметров ТСМ в объекте «Укрытие» необходимы также датчики температуры, особенно в зонах ядерно-опасных скоплений ТСМ.

6. Для правильного определения пороговых уровней, особенно в каналах контроля нейтронной активности, необходимо выбирать рациональный интервал осреднения и алгоритм обработки результатов измерений как с учетом своевременной аварийной сигнализации, так и с учетом уменьшения потерь от ложных тревог.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Объект «Укрытие»*: 1986 - 2011. На пути к преобразованию / А. А. Ключников, В. А. Краснов, В. М. Рудько, В. Н. Щербин. – Чернобыль: Ин-т проблем безопасности АЭС НАН Украины, 2011. - 286 с.
2. *Высотский Е.Д., Ключников А.А., Краснов В.А.* Локализация ядерно-опасных скоплений топливосодержащих материалов // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2007. – Вип. 7. - С. 66 - 75.
3. *Высотский Е.Д., Ключников А.А., Щербин В.Н., Шостак В.Б.* Нейтронно-физические характеристики ядерно-опасных скоплений топливосодержащих материалов // Там же. – 2009. – Вип. 12. - С. 93 -101.
4. *4. 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.*
5. *Пазухин Э.М.* Лавообразные топливосодержащие массы 4-го блока Чернобыльской АЭС: топография, физико-химические свойства, сценарий образования, влияние на окружающую среду: Дис. ... д-ра техн. наук. - Чернобыль, 1999. - 293 с.
6. *Системы контроля состояния топливосодержащих материалов объекта «Укрытие» /А. Ф. Атрощенко, В. А. Баллон, Е. Д. Высотский и др. – Чернобыль, 1999. - 40 с. – (Препр. / НАН Украины. МНТЦ «Укрытие»; 99-3).*
7. *Технологический регламент объекта «Укрытие» реактора блока № 4 Чернобыльской АЭС. – Чернобыль, 1999.*
8. *Августов В.В., Кучмагра А.А., Молчанов О.С. и др.* Обоснование выбора пороговых значений контролируемых параметров системы контроля топливосодержащих материалов на объекте «Укрытие // Проблемы Чернобиля. – 2000. – Вип. 6. - С. 140 - 152.

Є. Д. Висотський, А. І. Довидьков, В. О. Краснов, В. М. Щербін

ОСОБЛИВОСТІ КОНТРОЛЮ ЯДЕРНОЇ БЕЗПЕКИ ОБ'ЄКТА «УКРИТТЯ» В ПЕРІОД СПОРУДЖЕННЯ НОВОГО БЕЗПЕЧНОГО КОНФАЙНМЕНТА

Наведено основні чинники, що впливають на ефективність контролю ядерної безпеки об'єкта «Укриття» в період спорудження нового безпечного конфайнмента. Показано, що діючі регламентні системи контролю та нова інтегрована автоматизована система контролю (ІАСК) не забезпечують необхідної ефективності контролю ядерної безпеки. Запропоновано, разом з регламентним контролем, використовувати, як резервну, дослідницьку систему, що дає змогу оперативно виявляти причини аномальних показань у каналах контролю нейтронної активності. Наведено обґрунтування необхідності розміщення нейтронних детекторів безпосередньо в зоні ядерно-небезпечних скупчень, систематизації контролю динаміки температурних полів у зонах скупчень паливовмісних матеріалів та оптимізації порогових рівнів у системах контролю.

Ключові слова: об'єкт «Укриття», паливовмісні матеріали, контроль ядерної безпеки.

E. D. Vysotskiy, A. I. Dovydkov, V. A. Krasnov, V. M. Shcherbin

FEATURES OF THE CONTROL OF OBJECT "UKRYTTYA" NUCLEAR SAFETY, DURING THE NEW SAFE CONFINEMENT BUILDING

Basic factors influencing on efficiency of nuclear safety control of object "Ukryttya" in the period of building of the new safe confinement are pointed out. It is shown that the existing regulation monitoring systems and the new IASC system does not provide the required effectiveness of nuclear safety control. It is offered, along with regulation control, to use, as a backup, research system, that allows to identify operatively causes of abnormal readings in channels of neutron activity control. It is given the basis, that placing of neutron detectors directly in nuclear-hazardous clusters zone is necessary. Systematization control of dynamics of temperature fields in fuel material accumulations areas and optimization of threshold levels in control systems are have to be conducted.

Keywords: objekt "Ukryttya", fuel-containing materials, nuclear safety control.

Поступила в редакцію 11.05.11