

А. И. Довыдьков, В. А. Краснов, В. Н. Щербин

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, ул. Кирова, 36а, Чернобыль, 07270, Украина

АНАЛИЗ ЗАДАЧ КОНТРОЛЯ ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ»

На примере объекта «Укрытие» рассмотрены основные задачи контроля ядерной безопасности аварийных энергоблоков АЭС. Проведен анализ опыта решения этих задач при ликвидации аварии на ЧАЭС. Отмечены актуальные проблемы и указаны перспективные пути их решения. Показана необходимость продолжения исследований по данной тематике на базе объекта «Укрытие» для повышения эффективности и безопасности атомной энергетики.

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

Введение

Одной из основных проблем, которые необходимо было решать с первых дней аварии на ЧАЭС, были задачи контроля и обеспечения ядерной безопасности аварийного 4-го энергоблока. Эффективное решение задач контроля параметров подкритичности топливосодержащих материалов (ТСМ) при авариях на АЭС являются важнейшими для повышения эффективности и надежности в целом всей атомной энергетики. При ликвидации аварии на ЧАЭС пришлось оперативно решать много задач, с которыми мы тогда столкнулись впервые. Людские и материальные потери могли быть намного меньше, если бы к тому времени был опыт и готовые решения по ликвидации таких тяжелых аварий. И сейчас объект «Укрытие» остается своего рода лабораторией для совершенствования всего комплекса задач, связанных с ликвидацией последствий аварий на АЭС. Такую лабораторию специально создать невозможно. Но если уже случилась эта беда, надо извлечь из нее максимум пользы на будущее. При аварии на АЭС «Фукусима-1» в Японии пришлось решать аналогичные задачи, что и при ликвидации аварии на ЧАЭС. Это еще раз подтверждает актуальность таких проблем.

В ИПБ АЭС НАН Украины (далее ИПБ АЭС) накоплен большой опыт решения задач контроля подкритичности ТСМ, которые пришлось выполнять на объекте «Укрытие» методами проб и часто очень дорогих ошибок. Необходимо обобщить полученный опыт, показать пути дальнейшего совершенствования и повышения эффективности обеспечения ядерной безопасности при авариях на АЭС. В реальных условиях объекта «Укрытие» можно отрабатывать и проверять эффективность предлагаемых решений. Результаты этих работ могут быть также востребованы при дальнейшем преобразовании объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему [1 - 7].

В [1] показано, что объект «Укрытие» нельзя считать абсолютно ядерно-безопасным, пока внутри его находятся большие скопления ТСМ с неопределенными и изменяющимися параметрами. Непрерывно происходят процессы деградации ТСМ, которые объективно увеличивают степень ядерной, радиационной и радиоэкологической опасности. В частности, известно, что в юго-восточном секторе помещения 305/2 есть зона проплавления подреакторной плиты. Количество топлива там намного больше, чем предполагалось ранее. Результаты моделирования показывают высокую вероятность возникновения там самоподдерживающейся цепной реакции (СЦР) [2 - 4]. Некоторые ядерно-опасные зоны в объекте «Укрытие», в частности центральный зал, фактически совсем не контролируются. Наличие потенциально ядерно-опасных скоплений ТСМ требует продолжения работ, связанных с повышением надежности контроля подкритичности ТСМ внутри объекта «Укрытие».

Среди основных задач обеспечения надежного контроля ядерной безопасности при авариях на АЭС (учитывая опыт объекта «Укрытие») можно выделить следующие:

- локализация больших скоплений ТСМ и ядерно-опасных зон;
- проведение оперативных измерений и видеообследований в аварийном энергоблоке;
- анализ возможных путей доступа, определение информативных точек для установки датчиков систем контроля динамики параметров ТСМ;
- создание комплексных информационно-измерительных систем для оперативного контроля и анализа динамики параметров подкритичности;

© А. И. Довыдьков, В. А. Краснов, В. Н. Щербин, 2015

повышение надежности и достоверности контроля параметров ТСМ в условиях интенсивных помех, прежде всего контроля динамики нейтронной активности;
метрологическое обеспечение систем контроля ТСМ в условиях аварийных энергоблоков;
определение контрольных уровней и критериев безопасности, оптимизация алгоритмов принятия решений о необходимости вмешательства для подавления ядерной опасности;
моделирование и прогноз динамики параметров ТСМ в ядерно-опасных зонах;
минимизация доз облучения персонала при работах по обеспечению ядерной безопасности;
создание и ведение баз знаний по вопросам ядерной безопасности, (как общих, так и конкретных по аварийным объектам);
другие задачи, связанные с ядерной безопасностью, которые приходится решать при авариях на АЭС.

Рассмотрим более подробно особенности решения задач контроля ядерно-физических параметров ТСМ в условиях аварийных энергоблоков на примере объекта «Укрытие».

Локализация и доступ к скоплениям ТСМ

Первые попытки радиометрических, тепловых и визуальных обследований, проводимых с помощью вертолетов и различных измерительных буюв, не смогли дать необходимой информации о состоянии помещений и распределении ТСМ внутри разрушенного 4-го энергоблока ЧАЭС. После многих неудачных попыток получить необходимые данные было принято решение о бурении специальных скважин из доступных помещений в наиболее вероятные зоны скоплений ТСМ (в шахту реактора, в подреакторные помещения, в бассейн выдержки и другие места, куда могло попасть ядерное топливо).

Бурение скважин было начато в 1988 г. Основными задачами бурения были: анализ распределения ТСМ во внутренних помещениях 4-го энергоблока, оценка масштабов разрушений, проведение дозиметрической разведки внутри блока. Впоследствии в скважинах стали устанавливать датчики систем контроля для регулярных измерений динамики ядерно-физических параметров в зонах выявленных скоплений ТСМ. До настоящего времени основная часть наиболее информативных датчиков систем контроля ядерной безопасности ТСМ в объекте «Укрытие» установлена через эти скважины. Системный анализ состояния скважин, результаты измерений параметров нейтронных потоков, гамма-полей и температуры в этих скважинах за прошедший период, а также особенности контроля ядерно-физических параметров ТСМ в этих зонах приведены в [6 - 13].

Выбор трассы скважин в тот период проводился с учетом результатов предварительных измерений тепловых потоков от предполагаемых зон скоплений ТСМ. Оценивались возможности проведения бурения, радиационная обстановка в рабочих зонах, а также многие другие факторы. В процессе бурения выполнялся оперативный анализ и сопоставление выбуренных кернов с проектными данными. Конечно были и неизбежные для того тяжелого периода ошибки. Например, погрешности установки буровых станков приводили к отклонению трассы скважины от проекта. Не всегда оперативно принимались решения о нецелесообразности продолжения бурения заведомо неинформативных скважин. Часто изменения направления бурения скважин не отслеживались в проектной документации. Поэтому было много неоправданного облучения персонала и потерь драгоценного времени.

Полученный опыт показал, в частности, необходимость разработки технологий «горячего» бурения, связанного с извлечением и консервацией высокоактивных кернов. Из-за отсутствия в то время таких технологий бурение наиболее информативных скважин приходилось прекращать уже на границах скоплений ТСМ. Поэтому сейчас датчики всех систем контроля находятся на периферии, далеко от центров ядерно-опасных зон. Существующая сеть детекторов нейтронов фактически не может надежно обеспечивать функцию раннего обнаружения опасных изменений подкритичности.

В тот экстремальный период не всегда проводилась своевременная обсадка скважин трубами. Поэтому затраты на бурение многих скважин оказались неэффективными. Произошедшие обрушения в скважинах делают невозможным не только установку новых датчиков, но и извлечение находящихся там датчиков для их замены. Обсадка скважин, проведенная в более поздний период (2004 - 2010 гг.) для установки датчиков новой интегрированной системы контроля (ИАСК), привела к тому, что часть скважин после их обсадки потеряли прежнюю информативность. Их доступная глубина из-за обрушений уменьшилась. Теперь датчики установлены еще дальше от зон контроля [5].

Особенно большие дозовые нагрузки персонала были при взятии проб и визуальном обследовании помещений с высоким уровнем радиации. Люди проникали в эти зоны через завалы,

делали фотографии, собирали пробы; потом по памяти, по рисункам и фотографиям делали анализ и оценку там ситуации. Недавно проводились обследования зон контроля для ИАСК. Эти работы еще раз показали необходимость мобильных устройств для дистанционного видеообследования зон с высоким уровнем радиации, надежных систем для проведения оперативных дистанционных измерений параметров подкритичности, а также других современных технологий и технических средств, которые позволят повысить эффективность выполнения задач доступа к ТСМ в аварийных ситуациях и снизить облучение персонала.

Полученный опыт подтверждает важность комплексного научного сопровождения всех работ по обеспечению доступа в зоны скоплений ТСМ. Должны быть освоены технологии «горячего» бурения, например с выбросом активных кернов в промежуточных помещениях или с углублением в тело ТСМ специальными сверлами без извлечения кернов. Нужны манипуляторы и другие технические средства для установки датчиков через скважины максимально близко к ТСМ. Необходимы безлюдные технологии для взятия высокоактивных проб из глубины ТСМ для определения параметров подкритичности. Нужны мобильные устройства для оперативного измерения глубины и угловых направлений скважин. Эти научно-технические разработки будут востребованы и для объекта «Укрытие», если после возведения «Арки» будет принято решение об извлечении и надежном захоронении находящихся там ТСМ.

Системы контроля параметров ТСМ

Системы контроля (СК) параметров ТСМ - это центральный вопрос рассматриваемой проблемы. Уже спустя несколько месяцев после аварии на ЧАЭС стало ясно, что необходимо перейти от отдельных разрозненных измерений к созданию комплексных систем для постоянного контроля и анализа динамики параметров ТСМ, которые находятся внутри объекта «Укрытие». Первые такие системы («Финиш» и «Шатер») стали создаваться в конце 1988 г. В 1998 г. в эксплуатацию была введена СК ТСМ «Сигнал», разработанная в МНТЦ «Укрытие» НАН Украины. В 1999 г. была смонтирована и запущена в эксплуатацию американская система контроля подкритичности «Пилот». В 2012 - 2014 гг. выполнен большой комплекс работ по модернизации и вводу в эксплуатацию новой системы контроля ядерной безопасности (СКЯБ) в составе ИАСК.

Несмотря на большие затраты, проблема надежного и достоверного контроля ядерной безопасности ТСМ в объекте «Укрытие» остается до конца не решенной. Основные причины связаны с тем, что очень тяжелые специфические условия внутри разрушенного ядерного энергоблока не позволяют эффективно использовать методы и средства измерения ядерно-физических параметров подкритичности, которые применяются на АЭС в штатном режиме. Не случайно уже через несколько лет из-за неисправностей и низкой информативности была выведена из эксплуатации СК «Шатер». Сложная и дорогая система «Пилот», хотя и сделанная на современной элементной базе, проработала менее двух лет. Очень много проблем с эффективностью работы новой СКЯБ ИАСК. Фактически наиболее достоверные данные мы получали в системе «Финиш». Но и эта система постепенно теряет свою эффективность из-за отсутствия возможности замены старой элементной базы, ухода специалистов, передачи информативных точек контроля в другие системы, проблем с финансированием и т.д.

На эффективность СКЯБ влияют многие факторы. Выше уже отмечалась низкая информативность из-за невозможности установки датчиков непосредственно внутри скоплений ТСМ. Большие проблемы связаны также со сложностью монтажа и обслуживания аппаратуры СК. Работа в агрессивных условиях требует специальных средств защиты оборудования и персонала. Особенно много трудностей с защитой СКЯБ от помех. При интенсивных сварочных, монтажных и других работах, которые всегда проводятся при ликвидации аварий, из-за помех часто увеличиваются показания сразу в нескольких каналах контроля плотности потока нейтронов (ППН). Это может приводить к ложным тревогам и нежелательному вмешательству.

Эффективность СКЯБ во многом зависит от выбранной элементной базы и ее структуры. Например, первые датчики мощности экспозиционной дозы (МЭД) приходилось менять уже через несколько месяцев из-за отказов электронных блоков под действием высоких уровней радиации. По этой же причине уже через год вышли из строя датчики американской системы «Пилот». В то же время датчики системы «Финиш» на основе камер деления типа КНТ-15, позволяющие контролировать в одной точке ППН и МЭД, эффективно работают уже несколько лет.

Опыт ИАСК еще раз подтверждает необходимость качественного научного сопровождения на всех этапах проекта СКЯБ, а также экспериментальной проверки предлагаемых технических решений

в реальных условиях. Это позволяет повысить эффективность СКЯБ. К сожалению, не все наши рекомендации были учтены при разработке ИАСК. В частности, чувствительность нейтронных каналов в ИАСК оказалась недостаточной для условий объекта «Укрытие». Датчики установлены еще дальше от контролируемых зон, а центральный зал так и остался фактически без контроля. Много проблем с качеством монтажа кабельных коммуникаций. Аппаратура для первичной обработки сигналов опять находится далеко от датчиков и установлена в общие шкафы, что повышает взаимное влияние между каналами. В ИАСК совсем отсутствует контроль динамики температуры ТСМ. Это также существенно снижает ее информативность.

Учитывая специфику тяжелых условий, контроль ядерной безопасности аварийных объектов АЭС и, в частности, объекта «Укрытие» должен проводиться хотя бы двумя независимыми системами. Вопросы создания такой резервной системы для объекта «Укрытие» и ее взаимодействия с ИАСК рассмотрены в [5, 12].

Особо следует отметить необходимость разработки малогабаритной мобильной аппаратуры для разведки и оперативных измерений ядерно-физических параметров в условиях, аналогичных объекту «Укрытие». В ИПБ АЭС были разработаны экспериментальные образцы такой мобильной аппаратуры. Они применялись для обследования маршрутов доступа к ТСМ [7, 14]. Использование современной элементной базы позволит существенно улучшить их технические характеристики. Перспективным является размещение малогабаритных сменных модулей первичных преобразователей внутри блоков нейтронного детектирования. Возможность замены таких съемных модулей позволит повысить эксплуатационные показатели систем нейтронного контроля. Ведь нерационально заменять весь дорогой датчик из-за неисправного сопротивления или микросхемы.

Указанные проблемы подтверждают, что создание и внедрение современных средств контроля параметров подкритичности ТСМ, способных эффективно работать в тяжелых условиях аварийных АЭС, остается актуальной задачей контроля и обеспечения ядерной безопасности в атомной энергетике.

Борьба с помехами в СКЯБ

Проблемы борьбы с помехами, неизбежными в специфических аварийных условиях, являются важнейшими для эффективной работы СКЯБ. Согласно требованиям нормативных документов в СКЯБ допускается не более двух ложных тревог за год (ПБЯ-06-10-99). В условиях, аналогичных условиям в объекте «Укрытие», это обеспечить очень сложно без использования специальных мер. Особенно остро стоят задачи борьбы с помехами в каналах контроля нейтронной активности. Это связано, в частности, со спецификой сигналов от нейтронных детекторов и с более сложной обработкой сигналов в каналах нейтронного контроля.

Методы борьбы с помехами в СКЯБ условно можно разделить на две основные группы. К первой группе относятся методы повышения помехозащищенности. Их цель - борьба с проникновением помех на входы измерительных преобразователей. В частности, к ним относятся: заземление и экранирование; временная, амплитудная или частотная фильтрация; дублирование; преобразование аналоговых сигналов в цифровые; передача сигналов по оптоволоконным линиям; разделение во времени периодов проведения измерений и работы источников помех; другие методы.

Ко второй группе относятся методы повышения помехоустойчивости. Это обычно программные методы отсеивания недостоверных результатов. К таким методам, в частности, относятся: осреднение; отсеивание результатов, не соответствующих физике контролируемого процесса, например по амплитуде, скорости нарастания, наличию отрицательных выбросов и т.п.; частотный анализ, а также другие алгоритмы обработки данных, которые проводятся до выдачи окончательного результата контроля.

Конечно, деление методов борьбы с помехами на эти две группы (помехозащищенность и помехоустойчивость) условное. Главное, что существует много схемных, организационных и программных решений, направленных на повышение достоверности результатов контроля в современных измерительных системах. Надо выбрать из них наиболее эффективные, с учетом технических возможностей, конкретных условий в разрушенном энергоблоке, экономической оправданности и минимизации облучения персонала.

В частности, перспективным является оцифровка сигналов от датчиков (аналогично записи в запоминающем осциллографе) с последующим оперативным анализом их на ЭВМ. Такие записи могут автоматически включаться и анализироваться, например, при опасном изменении показаний в измерительных каналах СКЯБ. Это особенно эффективно для борьбы с помехами в каналах контроля

нейтронной активности. Дело в том, что все известные виды помех в этих каналах по виду существенно отличаются от полезного сигнала (рис. 1). Современная аппаратура, в частности ИАСК, с большими вычислительными возможностями позволяет использовать такой метод.

Следует также учитывать, что проблемы помехозащищенности регламентной СКЯБ, отличаются от задач чисто измерительной системы. Для регламентной системы основной задачей является надежность и достоверность контроля опасных изменений подкритичности ТСМ. Поэтому для СКЯБ, выполняющей функции системы аварийной сигнализации, дополнительно накладываются задачи минимизации вероятности ошибок первого и второго рода (ложных тревог и пропуска опасности). Эти задачи тесно связаны также и с задачами рационального выбора допустимых отклонений контролируемых параметров.

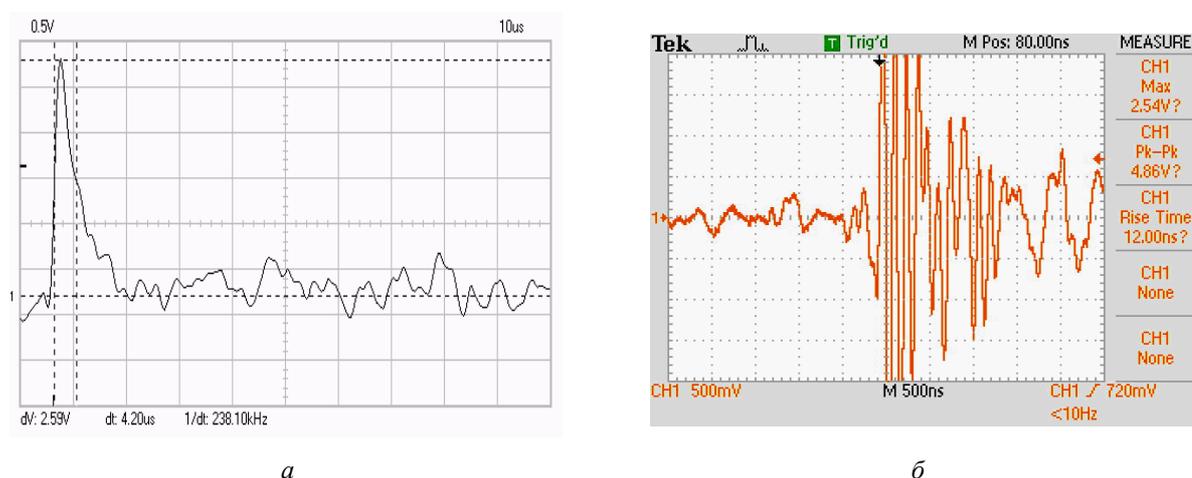


Рис. 1. Виды сигналов в нейтронном канале СКЯБ:

а - типовой сигнал от нейтронных событий; *б* - сигнал при помехе типа «дребезг».

Конечно, борьба с помехами в аварийных энергоблоках не простая задача. Но учитывая предыдущий опыт для обеспечения высокой надежности и достоверности контроля ядерной безопасности объекта «Укрытие», эту проблему надо решать. Поэтому проведение работ по этой тематике также является актуальным.

Метрологическое обеспечение СКЯБ

Много проблем сейчас есть и с метрологическим обеспечением СКЯБ. В условиях тяжелых аварий на АЭС классические методы аттестации и поверки систем контроля параметров подкритичности ТСМ не всегда эффективны. В первую очередь это относится к каналам измерения ППН. Дело в том, что фактически отсутствуют как рабочие эталоны ТСМ, так и специальные образцовые средства измерений для проведения таких работ. Даже в пределах одного аварийного блока в разных зонах контроля параметры скоплений ТСМ не одинаковые. Нейтронные потоки сильно отличаются по интенсивности, энергетическому спектру, фоновому излучению и другим параметрам, влияющим на достоверность показаний в нейтронных каналах. Кроме того, состояние подкритичности ТСМ может меняться под действием влажности, температуры, при изменении структуры ТСМ и других факторов. Поэтому калибровка и аттестация каналов СКЯБ в лабораторных условиях на эталонных источниках нейтронов не гарантирует высокой достоверности результатов измерений в разрушенном энергоблоке.

При выполнении поверки СКЯБ в условиях аварийных энергоблоков, например в объекте «Укрытие», возникает много проблем с монтажом аппаратуры, извлечением датчиков, дезактивацией, консервацией, транспортировкой оборудования и т.п. Работы выполняются в помещениях с высоким радиационным фоном и загрязнением. Дефицит располагаемого времени работы, сложность оборудования рабочих мест в «грязных» помещениях, трудности работы с приборами и инструментом при использовании перчаток и других средств индивидуальной защиты, плохое освещение, грязные потеки в зоне работ и многие другие факторы затрудняют проведение метрологических работ.

Опыт калибровки каналов исследовательской системы «Финиш», разработка методики аттестации и проведение поверки СКЯБ ИАСК на объекте «Укрытие» показали возможные пути решения

таких задач. В частности, дискриминационные характеристики могут служить своеобразным паспортом нейтронных каналов. Стабильность этой характеристики в канале с высокой достоверностью подтверждает его исправность. При этом не требуется проводить монтаж/демонтаж датчиков и периферийного оборудования, а все работы по проверке могут выполняться персоналом в «чистых» аппаратных помещениях, изменяя уровень дискриминации в канале. При необходимости можно дополнительно отдельно провести поверку нормализующей части канала, используя имитаторы сигналов от датчиков.

Кроме того, в объекте «Укрытие» есть точки контроля, в которых параметры ТСМ (ППН и МЭД) известны с достаточно высокой точностью. Эти точки можно использовать для предварительной калибровки новых каналов СКЯБ перед их установкой в другие места. Есть и другие пути решения конкретных практических задач метрологии в аварийном энергоблоке. Необходимо совершенствовать как техническую, так и законодательную основу метрологического обеспечения СКЯБ с учетом специфических условий, которые могут возникать при авариях на АЭС.

К этой же проблеме, в частности, относятся задачи регулировки и настройки каналов ППН СКЯБ, например после ремонта или замены детектора и других блоков СК. Для примера на рис. 2 показаны счетные характеристики в измерительных каналах ППН СКЯБ ИАСК, построенные по показаниям амплитудного анализатора (АА) и по показаниям СКЯБ. Видно, что они не всегда совпадают. Это может привести к неправильной настройке СКЯБ. Поэтому для ИАСК был предложен метод калибровки путем регулировки затухания (дБ) в каналах контроля ППН. По сравнению с традиционным методом использования АА этот метод позволяет сократить трудоемкость, снизить дозы облучения персонала и повысить качество настройки СКЯБ.

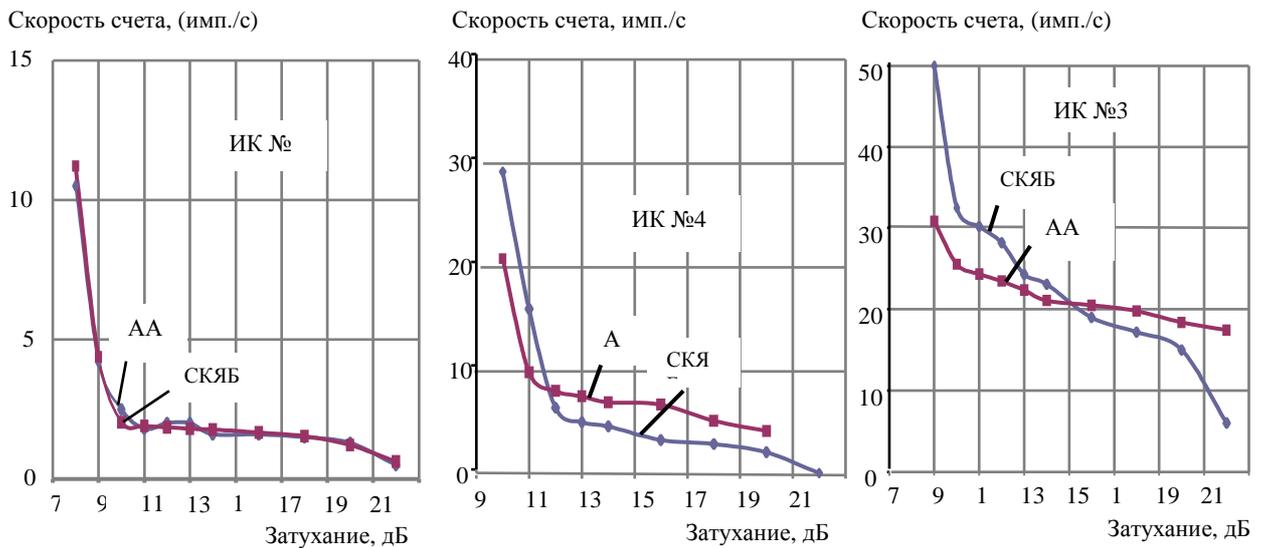


Рис. 2. Зависимость скорости счета (имп./с) в каналах № 3, 4 и 8 СКЯБ ИАСК от уровня затухания (дБ) по данным СКЯБ и АА.

Контрольные уровни и критерии ядерной безопасности

С вопросами обеспечения эффективного контроля ядерной безопасности тесно связаны также задачи определения допустимых предельных отклонений показаний параметров подкритичности в каналах СКЯБ. Несмотря на большое внимание к этим вопросам, до настоящего времени фактически отсутствует приемлемая для практики методика назначения пороговых уровней в каналах контроля параметров ТСМ, в частности в каналах ППН.

Методика, предложенная в первых редакциях регламента объекта «Укрытие», не нашла практического применения, поскольку имела много неопределенностей при конкретных расчетах. В более поздних редакциях регламента (2010 г.) она была заменена на предельно упрощенную и неэффективную методику выбора контрольных уровней по максимальным показаниям за предыдущий год. В последней редакции регламента (2011 г.) такая методика вообще отсутствует.

В задачах обеспечения ядерной безопасности целесообразно разделить задачи контроля статистической устойчивости процесса (это изменения в диапазоне «Нормально» - «Внимание») и задачу реагирования, т. е. вмешательства при опасном отклонении контролируемого параметра. Если

первую задачу можно почти полностью возложить на сигнальную автоматику, то вторая задача требует обязательного участия персонала. Для таких решений необходимы четкие алгоритмы обработки и анализа показаний в каналах контроля ядерной безопасности.

Скопления ТСМ могут отличаться по удельному содержанию топлива, массе, влажности и другим параметрам, влияющим на уровень подкритичности, поэтому определение фактического уровня подкритичности ТСМ также является важной задачей, которую необходимо решать при авариях на АЭС.

Конечно, условие недопущения ошибки первого рода и минимизация вероятности ложных тревог требует введения разумного запаса. При этом нужно учитывать достоверность показаний в каналах, статистические характеристики сигналов, исходные состояния ТСМ, предыдущую динамику и другие факторы, влияющие на правильность решений [15 - 17].

Для СКЯБ в этих вопросах остается еще много нерешенного. Поэтому методы и алгоритмы принятия решений о необходимости вмешательства при опасном изменении подкритичности ТСМ требуют дальнейшего совершенствования. В частности, большие вычислительные возможностями ИАСК позволяют переложить на ЭВМ оперативный анализ текущих результатов контроля динамики параметров ТСМ. Это дает возможность выполнять анализ любой сложности, например отсеивать недостоверные, учитывать динамику периодов роста показаний, использовать моделирование, давать прогноз развития ситуации, учитывать особенности контролируемых зон ТСМ и многое другое. Важно, чтобы персонал, принимающий ответственные решения о необходимости вмешательства и ликвидации опасности, получал достаточную и достоверную информацию в удобной для анализа форме.

Моделирование и прогноз динамики параметров ядерной безопасности

Опыт объекта «Укрытие» показал, что основные проблемы обеспечения эффективного контроля ядерной безопасности при авариях на АЭС обусловлены ограничением или отсутствием возможности доступа непосредственно в ядерно-опасные скопления ТСМ. Поэтому модельные исследования параметров ядерной безопасности и прогноз их динамики при авариях имеют особое значение.

Математическая модель, максимально приближенная к реальной геометрии и структуре ядерно-опасной ТСМ, даст возможность детального анализа возможных вариантов развития аномалий и прогнозировать динамику параметров подкритичности в любой точке ядерно-опасной зоны. Моделирование позволяет уточнить массовые, геометрические и другие параметры ТСМ на основе сопоставления результатов моделирования и экспериментальных данных. Модель можно использовать для оценки риска возникновения и возможных последствия СЦР, а также эффективности предлагаемых методов подавления опасных изменений подкритичности. Полученный в ИПБ АЭС опыт моделирования параметров в ядерно-опасных зонах объекта «Укрытие» подтверждает возможность эффективного решения таких задач [4].

Базы знаний по ядерной безопасности

Современный уровень развития информационных технологий позволяет существенно повысить эффективность информационного обеспечения задач контроля ядерной безопасности при аварии на АЭС. Уже в первый период после аварии на ЧАЭС были организованы каналы передачи данных оперативных измерений ядерно-физических параметров ТСМ на центральные базы данных в Чернобыле и Москве.

На сегодня в ИПБ АЭС имеются результаты измерений параметров ППН, МЭД и температуры в различных зонах объекта «Укрытие», начиная с 1988 г. Эти данные широко используются для научных исследований, для оценки динамики состояния и прогнозирования параметров ТСМ. Имеются электронные версии отчетов, публикаций, результатов научно-исследовательских работ и другой документации по рассматриваемой проблеме.

К сожалению, ряд недостатков этих баз данных приводит к тому, что пользоваться ими не всегда удобно. Например, в базе показаний каналов систем контроля ТСМ отсутствуют сведения об изменении координат установки датчиков, смены номеров каналов контроля, их параметров и другие сведения, необходимые для корректного проведения исследований. Поэтому не всегда можно однозначно определить причину изменения показаний в канале. Оно может быть вызвано как изменением

контролируемого параметра, так и изменением характеристик самого канала (координат, номера, чувствительности и т.д.).

Большие проблемы и с быстрым поиском необходимой информации в этом огромном массиве данных. Сейчас фактически отсутствует единая структура и классификация знаний по ядерной безопасности. Поэтому дальнейшее наполнение, совершенствование структуры и пользовательских интерфейсов баз знаний по вопросам ядерной безопасности аварийных энергоблоков остаются актуальными. Эти задачи должны решаться с учетом полученного опыта ликвидации аварии на ЧАЭС. Это необходимо и для дальнейшего обеспечения ядерной безопасности объекта «Укрытие».

Выводы

Контроль ядерной безопасности является одной из важнейших проблем при авариях на АЭС. Необходимо продолжить разработку методов и средств обеспечения надежного и достоверного контроля ядерной безопасности с учетом полученного опыта решения этих задач в аварийном 4-м энергоблоке ЧАЭС, используя последние достижения науки и техники.

Основными задачами контроля ядерной безопасности при авариях на АЭС являются: локализация ядерно-опасных скоплений ТСМ; определение информативных точек для установки датчиков; создание комплексных систем контроля динамики параметров подкритичности; повышение надежности и достоверности контроля параметров ТСМ в агрессивных условиях; метрологическое и информационное обеспечение СКЯБ в аварийных энергоблоках; определение контрольных уровней и критериев безопасности; моделирование и прогноз динамики поведения ТСМ в ядерно-опасных зонах.

Необходимо продолжить комплексный анализ опыта выполнения этих задач на примере объекта «Укрытие», совершенствовать методы и средства их решения. В частности, к актуальным задачам относятся: освоение технологий «горячего» бурения для доступа непосредственно в массивы ТСМ, разработка мобильных средств для обследования ядерно-опасных зон и для оперативных измерений параметров подкритичности, повышение достоверности результатов в СКЯБ, совершенствование технической и законодательной основы метрологического обеспечения СКЯБ, разработка методики назначения допустимых отклонений параметров подкритичности.

Эти задачи нужно включать в тематику НИР и ОКР, проводимых на базе объекта «Укрытие». Эффективное решение проблем контроля и обеспечения ядерной безопасности аварийных энергоблоков позволит повысить надежность всей атомной энергетики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Объект «Укрытие»: 1986 - 2011 на пути к преобразованию* / А. А. Ключников, В. А. Краснов, В. М. Рудько, В. Н. Щербин. – Чернобыль: Институт 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. *Разработка методик и способов контроля состояния подкритичности топливосодержащих материалов: (Отчет по НИР) / МНТЦ «Укрытие» НАН Украины; Рук. А. А. Ключников.* - Инв. № 3886. - Чернобыль, 2003 г.
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. *Довыдьков А. И., Краснов В. А., Щербин В. Н.* Повышение надежности контроля параметров топливосодержащих материалов в объекте «Укрытие» и новом безопасном конфайнменте // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2014. – Вип. 22. - С. 84 - 92.
6. *Довыдьков А. И., Краснов В. А., Довыдьков С. А.* О возможности использования исследовательских скважин для контроля топливосодержащих материалов в центральном зале объекта «Укрытие» // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2006. – Вип. 6. - С. 140 - 144.
7. *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.
8. *Высотский Е. Д., Довыдьков А. И., Довыдьков С. А. и др.* Анализ путей доступа к скоплениям топливосодержащих материалов в помещении 305/2 объекта «Укрытие». Часть 1. Исследовательские скважины в помещении 305/2. – Чернобыль, 2011. - 28 с. – (Препр. / НАН Украины. ИПБ АЭС; 11-1).

9. *Высотский Е. Д., Довыдьков А. И., Довыдьков С. А. и др.* Анализ путей доступа к скоплениям топливосодержащих материалов в помещении 305/2 объекта «Укрытие». Часть 2. Исследовательские скважины в подреакторной плите. - Чернобыль, 2011. - 37 с. – (Препр. / НАН Украины. ИПБ АЭС; 11-2).
10. *Высотский Е. Д., Довыдьков А. И., Довыдьков С. А. и др.* Анализ путей доступа к скоплениям топливосодержащих материалов в помещении 305/2 объекта «Укрытие». Часть 3. Исследовательские скважины на высотных отметках 10-11 м и в ПРК. - Чернобыль, 2012. - 30 с. – (Препр. / НАН Украины. ИПБ АЭС; 12-2).
11. *Высотский Е. Д., Довыдьков А. И., Довыдьков С. А. и др.* Анализ путей доступа к скоплениям топливосодержащих материалов в помещении 305/2 объекта «Укрытие». Часть 4. Исследовательские скважины на высотных отметках 12 - 15 м. - Чернобыль, 2012. - 37 с. – (Препр. / НАН Украины. ИПБ АЭС; 12-3).
12. *Высотский Е. Д., Довыдьков А. И., Довыдьков С. А. и др.* Контроль топливосодержащих материалов в помещениях 505/3 и 914/2 объекта «Укрытие». - Чернобыль, 2013. - 32 с. – (Препр. / НАН Украины. ИПБ АЭС; 13-1).
13. *Высотский Е. Д., Довыдьков А. И., Довыдьков С. А. и др.* Контроль топливосодержащих материалов в помещении 504/2 объекта «Укрытие». - Чернобыль, 2013. - 40 с. – (Препр. / НАН Украины. ИПБ АЭС; 13-2).
14. *Довыдьков А. И., Шевченко В. Г.* Пути повышения эффективности обследования исследовательских скважин на объекте «Укрытие» // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2006. – Вип. 12. - С. 137 - 139.
15. *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.
16. *Довыдьков А. И., Скорбун А. Д.* Статистические свойства сигналов систем контроля нейтронной активности в объекте «Укрытие» // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2013. – Вип. 20. - С. 77 - 84.
17. *Довыдьков А. И., Краснов В. А., Щербин В. Н.* Назначение пороговых уставок в каналах контроля подкритичности топливосодержащих материалов // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2014. – Вип. 22. - С. 82 - 88.

А. И. Довыдьков, В. О. Краснов, В. М. Щербин

Институт проблем безпеки АЕС НАН України, вул. Кірова, 36а, Чорнобиль, 07270, Україна

АНАЛІЗ ЗАДАЧ КОНТРОЛЮ ЯДЕРНОЇ БЕЗПЕКИ ОБ'ЄКТА «УКРИТТЯ»

На прикладі об'єкта «Укриття» показано основні завдання контролю ядерної безпеки аварійних енергоблоків АЕС. Проведено аналіз досвіду вирішення цих задач при ліквідації аварії на ЧАЕС. Звернуто увагу на актуальні проблеми та вказано перспективні шляхи їхнього вирішення. Показано необхідність продовження досліджень з цієї тематики на базі об'єкта «Укриття» для підвищення ефективності та безпеки атомної енергетики.

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

A. I. Dovydkov, V. O. Krasnov, V. M. Shcherbin

Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants NAS of Ukraine, Kirova str., 36a, Chornobyl, 07270, Ukraine

ANALYSIS OF THE PROBLEM NUCLEAR SAFETY REVIEW OF "UKRYTTYA" OBJECT

Basic tasks of nuclear safety control for severe accidents at nuclear power plants on example of "Ukryttya" object are shown. The analysis of these tasks solution experience at ChNPP accident elimination is conducted. Actual problems are noted and perspective ways for their decision are pointed out. Necessity of research continuation for this theme at "Ukryttya" object basis for nuclear power engineering effectiveness and safety improving is shown.

Keywords: NPP's accidents, "Ukryttya" object, fuelcontaining materials, nuclear safety control.

REFERENCES

1. "Ukryttya" object: 1986 - 2011 on the way to transformation / A. A. Kliuchnykov, V. A. Krasnov, V. M. Rud'ko, V. N. Shcherbin / Institute for safety problems of NPP's NAS of Ukraine. - Chornobyl, 2011. - 286 p. (Rus)
2. *Vysotskiy E. D., Kliuchikov A. A., Krasnov V. A.* The localization of nuclear-hazardous clusters of fuel-containing materials // Problemy bezpeky atomnyh elektrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyl). – 2007. – Iss. 7. - P. 66 - 75. (Rus)
3. Development of control methods for fuelcontaining materials undercriticality state. Report by NYR ISTC "Shelter" NAS of Ukraine; Man. A. A. Kliuchnykov. - Un. № 3886, Chornobyl, 2003. (Rus)

4. *Model and experimental researches of fuel-containing material neutron control efficiency for critical-level risk zones: (Report for SRW) / ISP NPP NAS Ukraine; Man. A. A. Kliuchnykov. - Un. № 3886. - Chornobyl, 2007. (Rus)*
5. *Dovydkov A.I., Krasnov V.A., Shcherbin V.N. Reliability control of parameters of fuel-containing materials at object "Ukryttya" and the new safe konfajnmemente // Problemy bezpeky atomnyh elektrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyl). - 2014. - Iss. 22. - P. 84 - 92. (Rus).*
6. *Dovydkov A.I., Krasnov V.A, Dovydkov S.A. Drilled-holes usement reseach possibilities for fuel - containing material control at "Shelter" object Central Hall // Problemy bezpeky atomnyh elektrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and Chornobyl). - 2006. - Iss. 12. - P. 93 -101. (Rus)*
7. *Revealing of new informative points for detector blocks localization. Drilled-holes verifications: (SRW Report) / MNTC "Ukrytie" NAS Ukraine; Man. V. N. Shcherbin. - Un. № 3808. - Chornobyl, 2001. - 131 p. (Rus)*
8. *Vysotskiy E.D., Dovydkov A.I., Dovydkov S.A. et al. Analysis of access routes to the accumulation of fuel-containing materials at object "Ukryttya" room 305/2. Part 1. Research wells at room 305/2. - Chornobyl, 2011. - 28 p.- (Prepr. / National Academy of Sciences of Ukraine. Institute for safety problems of nuclear power plants; 11-1). (Rus)*
9. *Vysotskiy E.D., Dovydkov A.I., Dovydkov S.A. et al. Analysis of access routes to the accumulation of fuel-containing materials at object "Ukryttya" room 305/2. Part 2. Research wells at under- reactor plate. - Chornobyl, 2011. - 28 p. - (Prepr. / National Academy of Sciences of Ukraine. Institute for safety problems of nuclear power plants; 11-2). (Rus)*
10. *Vysotskiy E.D., Dovydkov A.I., Dovydkov S.A. et al. The analysis of access routes to clusters of fuel-containing materials in the room 305/2 of "Ukryttya" object. Part 3. Research wells at elevations 10 - 11 m and PRK. - Chornobyl, 2012. - 30 p. - (Prepr. / National Academy of Sciences of Ukraine. Institute for safety problems of nuclear power plants; 12-2). (Rus)*
11. *Vysotskiy E. D., Dovydkov A. I., Dovydkov S. A. et al. The analysis of access routes to clusters of fuel-containing materials in the room 305/2 of "Ukryttya" object. Part 4. Research wells at elevations 12 - 15 m. - Chornobyl, 2012. - 36 p. - (Prepr. / National Academy of Sciences of Ukraine. Institute for safety problems of nuclear power plants; 12-3). (Rus)*
12. *Vysotskiy E.D., Dovydkov A.I., Dovydkov S.A. et al. Control of fuel-containing materials at "Ukryttya" object premises 505/3 and 914/2. - Chornobyl, 2013. - 32. - (Prepr. / National Academy of Sciences of Ukraine. Institute for safety problems of nuclear power plants; 13-1). (Rus)*
13. *Vysotskiy E.D., Dovydkov A.I., Dovydkov S.A. et al. Control of fuel-containing materials at "Ukryttya" object premis 504/2. - Chornobyl, 2013. - 32. - (Prepr. / National Academy of Sciences of Ukraine. Institute for safety problems of nuclear power plants; 13-2). (Rus)*
14. *Dovydkov A.I., Shevchenko V.G. "Shelter" object research wells effectiveness improvement ways // Problemy bezpeky atomnyh elektrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyl). - 2006 - Iss. 12 - P. 137 - 139. (Rus)*
15. *Augusta V.V., Kuchmahra A.A., Molchanov O. S. et al. Rational values for controll parameters of "Shelter" object fuel-containing materials control system // Problemy Chornobylya. - 2000 - Vol. 6 - P. 140 - 152. (Rus)*
16. *Dovydkov A.I., Skorbun A.D. Statistic properties of neutron activity control signals at "Shelter" object // Problemy bezpeky atomnyh elektrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyl). - 2013. - Iss. 20 - P. 77 - 84. (Rus).*
17. *Dovydkov A.I., Krasnov V.A., Shcherbin V.N. Appointment threshold settings to monitoring channels subcriticality of fuel materials // Problemy bezpeky atomnyh elektrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyl). - 2014. - Iss. 23 - P. 82 - 88. (Rus)*

Надійшла 09.09.2014
Received 09.09.2014