

ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ПОВЫШЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРАКТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС

В. Г. Батий

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль

Сделан обзор проведенных в ИПБ АЭС за последние 10 лет исследований в области повышения радиационной безопасности при реализации практической деятельности на ЧАЭС и в зоне отчуждения. Проведен краткий анализ существующих проблем.

Ключевые слова: радиационная безопасность, оценка воздействий на окружающую среду, Чернобыльская АЭС, объект "Укрытие", зона отчуждения.

Введение

В Институте проблем безопасности АЭС НАН Украины (до 2004 г. – Межотраслевой научно-технический центр "Укрытие") на протяжении последних 10 лет проводились системные исследования и разработки, направленные на повышение уровня радиационной безопасности при преобразовании объекта "Укрытие" в экологически безопасную систему, снятии с эксплуатации энергоблоков ЧАЭС, проведении работ в зоне отчуждения. Исследования проводились в рамках уже выполненных научно-исследовательских работ (НИР) [1 – 3], а также НИР, выполняемых в настоящее время ("Разработка компьютерных моделей, измерительных методик и приборов для повышения безопасности на ядерно-радиационных объектах", 2005 – 2009 гг.).

Результаты проведенных НИР были практически внедрены при разработке и реализации многих проектов: различных проектов стабилизации строительных конструкций объекта "Укрытие"; проектов строительства нового санпропускника и завода по переработке жидких радиоактивных отходов (ЗПЖРО); Концептуального проекта нового безопасного конфайнмента; технико-экономического обоснования (ТЭО) инвестиций строительства Централизованного хранилища отработанного ядерного топлива ВВЭР (ХОЯТ ВВЭР); Концепции снятия с эксплуатации ЧАЭС; проекта реконструкции системы воздуховода "Байпас" вентиляционной трубы ВТ-2; проектов демонтажа ВТ-2 и строительства новой вентиляционной трубы, проекта реконструкции пункта захоронения радиоактивных отходов (РАО) "Буряковка" и др.

В настоящей работе проведен краткий обзор работ, выполненных в следующих направлениях:

- общие проблемы обеспечения радиационной безопасности;
- развитие концептуальных подходов по преобразованию объекта "Укрытие";
- систематизация и анализ данных по радиационной обстановке;
- развитие общих методических подходов к обеспечению радиационной безопасности в процессе практической деятельности;
- анализ безопасности отдельных проектов;
- оценка воздействий на окружающую среду в результате деятельности в зоне отчуждения.

Кроме того, в работе проведен анализ некоторых нерешенных проблем и предложены пути дальнейшего развития деятельности по обеспечению радиационной безопасности.

Общие вопросы обеспечения радиационной безопасности

Особенности обеспечения радиационной безопасности в условиях объекта "Укрытие" приведены в [4, 5]. Главной особенностью является наличие большого количества интенсивных открытых радиоактивных источников с неизвестными расположением и характеристиками. Поэтому вместо классической задачи выбора оптимальной защиты от источника излу-

чения с известными параметрами на произвольном рабочем месте возникает задача определения радиационных условий в предполагаемой зоне производства работ (ЗПР) и оптимизации радиационной защиты на основе анализа этих данных. При этом необходимо учитывать возможное изменение радиационной обстановки в процессе производства работ не только в ЗПР, но и на смежных участках.

В работе [5] выделены наиболее проблемные типы ЗПР (с высоким значением мощности экспозиционной дозы (МЭД) и с высоким уровнем поверхностного загрязнения) и наиболее радиоэкологически опасные виды работ – земляные и буровые. Сделаны выводы о необходимости продолжения разработок оригинальных методик для исследования радиационной обстановки в специфических условиях объекта "Укрытие" и комплексной оптимизации проектных решений и мероприятий по радиационной безопасности.

В работе [6] предложен системный подход к развитию методов повышения уровня радиационной безопасности в процессе практической деятельности на объекте "Укрытие", приведена схема научно-технической деятельности по повышению уровня радиационной безопасности. В этом подходе использованы более ранние разработки по применению принципа неперевышения [7] и принципа оптимизации (ALARA) [8 – 9]. Так, в работе [9] описаны особенности применения принципа ALARA для выбора оптимальных конструктивных и технологических решений, а также мероприятий по повышению уровня радиационной безопасности на всех фазах проектирования и реализации проектов.

В целом разработанный в ИПБ АЭС методический подход к решению задачи обеспечения радиационной безопасности при планировании и производстве работ в радиационно-опасных условиях себя оправдал, что подтверждается его успешным применением во многих проектах. Однако постоянно повышающиеся требования к радиационной безопасности и обновляемая непрерывно нормативная база требуют его постоянного усовершенствования.

Развитие концептуальных подходов по преобразованию объекта "Укрытие"

Для обеспечения необходимого уровня радиационной безопасности при преобразовании объекта "Укрытие" и минимизации дозозатрат персонала и воздействий на окружающую среду необходимо проводить анализ альтернативных вариантов еще на концептуальном уровне. В работах [10–12] рассматривались различные возможные концептуальные подходы к решению задачи окончательного преобразования объекта вплоть до извлечения топливосодержащих материалов (ТСМ).

В настоящее время приняты концептуальные решения [13] по конструкции нового безопасного конфайнмента (НБК), начаты работы по его проектированию. Разработаны критерии демонтажа нестабильных строительных конструкций с использованием систем НБК, вскоре начнется разработка соответствующего проекта. Однако вопрос возможности использования элементов и систем НБК для последующего безопасного извлечения ТСМ в рамках разрабатываемых проектов детально рассматриваться не будет.

В работе [12] представлен обзор и анализ существующих подходов для решения проблем извлечения ТСМ из объекта "Укрытие" и обращения с ними. Анализ этих технических предложений осуществлен с учетом максимально возможного использования систем и элементов НБК после его возведения. Было показано, что основными нерешенными проблемами на этапе концептуального проектирования были:

неопределенность отдельных проектных критериев и требований к конструкциям и системам НБК с точки зрения последующего извлечения ТСМ;

отсутствие технических решений по обращению с ТСМ, что предусматривает сбор, кондиционирование и контролируемое хранение основной массы ТСМ;

недостаточная взаимосвязь и сочетание существующих систем объекта "Укрытие", ЧАЭС и новых систем НБК, особенно учитывая различные сроки их эксплуатации;

отсутствие анализа надежности и долговечности строительных конструкций объекта "Укрытие", которые будут интегрированы в систему ограждающих конструкций НБК;

отсутствие прогноза изменений радиационных параметров НБК на всех этапах его функционирования (мощность дозы, загрязнение поверхностей конструкций и т.п.).

На этапе проектирования НБК необходимо учитывать в совокупности следующие факторы:

- продолжительность эксплуатации НБК (100 лет);
- продолжительность разборки завалов;
- продолжительность работ по извлечению ТСМ;
- возможность доступа к основным скоплениям ТСМ;
- продолжительность демонтажа объекта "Укрытие".

Все эти вопросы подлежат детальному и как можно более быстрому рассмотрению для максимального учета в разрабатываемых проектах необходимости последующего безопасного извлечения ТСМ.

Если говорить о деятельности в зоне отчуждения ЧАЭС, то нерешенными даже на концептуальном уровне остается много проблем – от обращения с пунктами временной локализации радиоактивных отходов (ПВЛРО) и сильно загрязненными участками территории до вопроса перспективы дальнейшего использования зоны отчуждения.

Систематизация и анализ данных по радиационной обстановке

Как было сказано выше, недостаток данных о расположении и характеристиках источников излучения вынуждает решать задачу определения радиационных условий в каждой из предполагаемых ЗПР. При этом для уменьшения дозозатрат при проведении прямых измерений большое внимание уделялось анализу и систематизации имеющихся данных, разработке и верификации компьютерных моделей радиационной обстановки, математическому моделированию радиационной обстановки.

Анализ и систематизация данных о радиационной обстановке в деаэрационной этажерке приведен в работе [14]. В работе [15] на основе анализа радиационной обстановки в районе радиоактивно загрязненной кровли резервного пульта управления 4-го энергоблока ЧАЭС показано, что для обеспечения радиационной безопасности организация экранирования кровли нецелесообразна.

В работе [16] разработана математическая модель излучения радиоактивно загрязненного грунта. Рассмотрена методика расчета радиационной обстановки, учитывающая вклад излучения объекта «Укрытие» и загрязненных участков грунта. Приведены результаты расчетов распределения мощности дозы для монтажной зоны нового безопасного конфайнмента и зависимость средней мощности дозы участка от высоты. Предлагаемая математическая модель излучения радиоактивно загрязненного участка грунта позволяет рассчитывать МЭД для больших участков местности, имеющих неравномерное загрязнение. Данный подход может быть использован при планировании производства работ, проектировании зданий и сооружений для прогнозирования изменения радиационной обстановки, расчета дозовых нагрузок и коллективной эффективной дозы персонала.

В работе [17] приведены результаты измерений относительного вклада различных источников гамма-излучения в мощность дозы для зон производства работ по строительству нового безопасного конфайнмента. Проведен анализ данных, позволивший идентифицировать основные источники гамма-излучения, а также систематизировать полученные результаты.

При производстве работ во многих внутренних помещениях объекта "Укрытие" МЭД определяется, в основном, излучением радиоактивно загрязненных поверхностей. В работе [18] предложена математическая модель и вычислительная программа для математического моделирования гамма-полей в поверхностно загрязненных помещениях.

Учитывая длительность предстоящей деятельности по преобразованию объекта "Укрытие" необходимо постоянно проводить деятельность по накоплению, систематизации, анализу и верификации данных по радиационной обстановке внутри объекта и вблизи него.

В частности, представляется полезным дальнейшее развитие и усовершенствование созданной в ИПБ АЭС информационной модели объекта "Укрытие" [19].

Развитие общих методических подходов к обеспечению радиационной безопасности в процессе практической деятельности

Краткий обзор разработанных в ИПБ АЭС методических подходов, измерительных и вычислительных методик, направленных на обеспечение требуемого уровня радиационной безопасности при производстве работ, сделан в работе [6]. Описанные исследования проводилась в ряде направлений:

разработка общих методических подходов, включая расчет индивидуальных и коллективных доз, оптимизацию технологических решений и защитных мероприятий на основе многокритериального подхода и др.;

разработка новых измерительных методик и установок, в частности для измерения угловых и энергетических характеристик гамма-полей и физического моделирования биозащиты, а также их применение для уточнения данных о радиационной обстановке на объекте "Укрытие";

разработка и использование методов математического моделирования радиационной обстановки, процессов измерения, математическое моделирование биозащиты с целью ее оптимизации, а также применение компьютерной графики для выбора оптимальных решений;

разработка мероприятий по радиационной защите;

оптимизация схем обращения с радиоактивными отходами и др.

Работы по развитию методов и методик продолжаются и в настоящее время. Из выполненных позже работ и не приведенных в [6], можно указать, в частности, работу [20], в которой описана методика выбора оптимальных решений при производстве работ в радиационно-опасных условиях.

В работе [21] решена нестационарная задача воздушного распространения аэрозолей во внутренних помещениях объекта с радиационно-опасными технологиями. Вычисления проводились на основе уточненных расчетных методик. В качестве примера приведены результаты расчетов распространения аэрозолей при возможной аварии, связанной с падением и разгерметизацией отработанной тепловыделяющей сборки в процессе ее загрузки в контейнер с целью транспортирования в хранилище. Полученные результаты могут найти применение на действующих объектах атомной энергетики.

В работах [22, 23] описано развитие многодетекторной методики измерения угловых распределений интенсивности гамма-излучения, в работе [24] – методики определения характеристик поверхностно загрязненных объектов в условиях высокого гамма-фона. В работах [25, 26] описано применение современных компьютерных технологий для усовершенствования методов повышения радиационной безопасности.

Продолжены работы по развитию методики выбора оптимальных решений при производстве работ в радиационно-опасных условиях [27, 28]. Так, в работе [27] предложен методический подход выбора оптимальных решений при производстве работ в радиационно-опасных условиях. Разработан алгоритм принятия оптимального решения при возможной недостоверности или недостаточности данных. Найдены подходящие функции желательности для количественных и качественных критериев оптимального выбора. Даны рекомендации по применению данной методики. Работа [28] является развитием указанной методики в части оценки недостоверных данных, представления качественных величин и выбора весовых коэффициентов. В ней разработан алгоритм проведения экспертных оценок и бланк опроса экспертов для принятия оптимального решения при возможной недостоверности или недостаточности данных.

К основным проблемам разрабатываемых и применяемых методов и методических подходов являются:

отсутствие достоверных данных о характеристиках поверхностных загрязнений в различных ЗПР, в частности распределений загрязнения по глубине;

отсутствие достоверных данных о концентрации и характеристиках радиоактивных аэрозолей, образуемых при производстве радиационно-опасных работ;

отсутствие достоверных данных о дозах внутреннего облучения персонала при производстве работ на объекте "Укрытие";

отсутствие картограмм мощностей доз с точной привязкой к координатам.

Указанные выше факторы затрудняют оценить точность и проводимых расчетов и усовершенствовать применяемые модели. При разработке и усовершенствовании методик измерения радиационных условий в ЗПР необходимо особое внимание уделить развитию методов точной привязки к существующим системам координат. Необходимо также уделить внимание вопросу создания верифицированных комплексов программ с удобным пользовательским интерфейсом для расчета образования в процессе производства работ радиоактивных аэрозолей, их распространению и воздействиям на персонал, население и окружающую природную среду.

Анализ безопасности отдельных проектов

Разработанные в ИПБ АЭС методические подходы были практически применены при анализе безопасности многих проектов, связанных с преобразованием объекта "Укрытие" и снятием с эксплуатации ЧАЭС, в частности проектов стабилизации [29, 30], строительства ЗПЖРО [31], концептуального проекта НБК [32] и др.

Первой работой такого рода был анализ радиационной безопасности, выполненный при подготовке к реализации проекта стабилизации опорных узлов блоков балок Б1 и Б2 [29]. В ней были сформулированы основные критерии и принципы, положенные в основу анализа безопасности, описаны разработанные методики: расчета эффективной дозы; оптимизации дозовых пределов; оптимизации экранирования; выбора путей доступа; расчета эквивалентных доз внешнего облучения хрусталика глаза и кожи.

В работе был проведен анализ состояния ЗПР, радиационной обстановки в них и выявлены основные источники гамма-излучения, обуславливающими дозу внешнего облучения при производстве работ.

Для обеспечения радиационной безопасности были разработаны организационные, технические и радиационно-гигиенические мероприятия по противорадиационной защите. В частности, впервые была оптимизировано экранирование при производстве работ. В ходе разработки этого мероприятия проявилась проблема недостатка данных об угловых распределениях интенсивности гамма-излучения в ЗПР. Впоследствии эта проблема была решена в ИПБ АЭС путем разработки оригинального способа и устройства для измерения угловых распределений интенсивности гамма-излучения. Способ и устройство защищены патентами [6].

Впервые при производстве работ на объекте "Укрытие" были проведены оценка воздействий на окружающую среду (ОВОС) и детальный анализ потенциального облучения. В частности, было показано, что вероятность падения башенного крана на объект "Укрытие" с последующим его обрушением превышает допустимые пределы. Были разработаны и реализованы предупреждающие мероприятия:

ограничение времени пребывания крана на рабочей стоянке. Для этого при перерывах в работе на одну или несколько смен кран отгонялся на место отстоя, где подготавливался к стоянке и закреплялся штатными средствами в соответствии с требованиями инструкции по эксплуатации и техническому обслуживанию крана;

дополнительное раскрепление крана на месте отстоя. Кран дополнительно раскреплялся с помощью разработанной специализированной проектно-конструкторской организацией специальной системы оттяжек.

Анализ результатов реализации проекта показал, что коллективная эффективная доза (КЭД) при производстве работ в локальной зоне составила 520 мЗв (62 % от расчетной), в зоне проведения основных работ – 3,0 Зв (55 % от расчетной).

Такое различие можно считать удовлетворительным. Во-первых, при существующей неопределенности исходных данных использовались консервативные оценки при расчете индивидуальных и коллективных доз. Во-вторых, при проведении анализа безопасности были рекомендованы мероприятия по снижению КЭД эффект от реализации многих из которых до проведения самих работ оценить невозможно. Прежде всего, это относится к подготовке персонала на тренажере.

Разработанные методические подходы были в дальнейшем развиты и нашли применение в процессе подготовки и реализации других стабилизационных мероприятий [30]. В указанной работе приведен расширенный комплекс обоснованных мер по обеспечению радиационной безопасности и противорадиационной защиты при осуществлении строительно-монтажных работ по стабилизации. В частности, описана оригинальная методика оптимизации экранирования с использованием данных по угловым распределениям интенсивности гамма-излучения.

В работе были показаны основные проблемные вопросы, которые в разной степени влияют на радиационную безопасность и точность оценки доз:

невозможность детальной разработки методов и способов строительных работ на этапе рабочего проекта приводит к неточному определению КЭД. В связи с этим было предложено иметь возможность получать и анализировать накопление КЭД в процессе реализации проекта. Полученные ежедневные или пооперационные значения коллективной дозы могут своевременно выявить причины возможного увеличения доз и, при необходимости, вносить корректирующие действия и соответственно снизить коллективную дозу;

радиационная обстановка на рабочих местах должна уточняться вплоть до завершения разработки проекта производства работ. В связи с этим было предложено организовывать оперативное получение недостающих данных по радиационной обстановке на всех этапах реализации проекта;

было предложено организовать мониторинг микроклиматических условий проведения работ для конкретных рабочих мест. Это обстоятельство, прежде всего, влияет на выбор средств индивидуальной защиты и их эффективное использование;

было указано на недостаточность оборудования по контролю внутреннего облучения отсутствие возможности оперативно определить дозу внутреннего облучения персонала;

было указано на необходимость организации постоянного биофизического контроля персонала, участвующего в работах по преобразованию объекта «Укрытие».

В дальнейшем при реализации проектов стабилизации строительных конструкций объекта "Укрытие" эти предложения были учтены.

В работе [31] приведены основные данные по анализу безопасности ЗПЖРО ЧАЭС. Был проведен анализ основных источников и факторов воздействия в нормальных и аварийных условиях. При этом были выделены факторы, не связанные с деятельностью ЗПЖРО (радиационный фон вокруг ЗПЖРО), и факторы, обусловленные технологическими процессами ЗПЖРО (при нормальной эксплуатации к таким факторам относятся гамма-излучение перерабатываемых РАО и наличие радиоактивных аэрозолей в воздухе, а при авариях влияние этих факторов может усилиться за счет возможных протечек ЖРО из поврежденного оборудования). В работе приведены мероприятия по противорадиационной защите и оценены индивидуальные и коллективные эффективные дозы при нормальной эксплуатации и максимальной проектной аварии.

В работе [32] проведен анализ возможных аварий при строительстве и эксплуатации НБК (работа проводилась в рамках работы над концептуальным проектом НБК [13]). В ней приведены и классифицированы сценарии развития событий, представляющих опасность. Перед надвижкой арки НБК (при строительстве) максимальная индивидуальная доза (при пожаре) составит 13 мЗв (вероятность – $9,45 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$), а при обрушении кровли объекта "Укрытие" – 58 мЗв (вероятность – $1,19 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$). Наиболее вероятно частичное обрушение кровли, доза при таком событии составит 19 мЗв.

При эксплуатации НБК наиболее опасным является потенциальное облучение для персонала, работающего в пространстве под "Аркой", особенно вблизи объекта "Укрытие". Во время пожара в объекте "Укрытие" вследствие ошибки персонала индивидуальная эффективная доза потенциального облучения составит $1,1 \text{ мЗв}$ при вероятности $9,45 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$ (доза снаружи будет на три порядка ниже). В случае обрушения объекта "Укрытие" вследствие землетрясения индивидуальная эффективная доза потенциального облучения составит 44 мЗв для персонала в пространстве под "Аркой" и около 3 мЗв вне данного пространства.

Проведенный анализ показал, что в целом строительство и эксплуатация НБК соответствуют действующим нормам радиационной безопасности Украины.

Оценка воздействий на окружающую среду в результате деятельности в зоне отчуждения

Разработанные в ИПБ АЭС методические подходы по оценке воздействий на окружающую среду были практически применены при разработке и реализации многих проектов, связанных с преобразованием объекта "Укрытие", снятием с эксплуатации ЧАЭС, деятельности в зоне отчуждения, в частности проектов: строительства санпропускника [33], стабилизации [34], строительства и эксплуатации ЗПЖРО [35], концептуального проекта НБК [36], ТЭО инвестиций строительства ХОЯТ ВВЭР [37], а также при оценке суммарного дополнительного воздействия техногенных источников в зоне отчуждения на окружающие территории и возможных перспектив дальнейшего использования зоны отчуждения [38, 39].

При анализе деятельности, связанной со строительством на радиоактивно загрязненной территории, было показано, что основным фактором воздействия является радиоактивное загрязнение воздушной среды, которое в дальнейшем инициирует вторичные факторы (загрязнение почвы и водной среды), а также обуславливает дополнительное внутреннее облучение за счет ингаляционного поступления радиоактивных веществ внутрь организма. При этом наиболее опасными с радиозоологической точки зрения являются земляные работы. Наиболее опасной радиационной аварией при строительстве вблизи объекта "Укрытие" (стабилизация, строительство НБК) является падение крана, которое может привести к обрушению объекта "Укрытие". Наиболее опасной радиационной аварией при строительстве на загрязненной территории вдали от объекта "Укрытие" (например, при строительстве ХОЯТ ВВЭР) является пожар.

Минимизация отрицательного воздействия на окружающую среду в процессе выполнения строительных работ может быть достигнута реализацией технических и организационных мероприятий. В качестве таких мероприятий используются пылеподавление, пылезакрепление, дезактивация, предотвращение попадания воды в образовавшиеся котлованы.

Целесообразность и эффективность видов и направленности дополнительных мероприятий рассматривается дифференцированно в зависимости от характера выполняемых работ и их возможного отрицательного влияния на окружающую среду.

Было показано, что в целом деятельность по строительству не приведет к существенным дополнительным воздействиям. Так, анализ воздействий на окружающую среду при стабилизации [34] показал, что при нормальных условиях выполнения работ, привнесенное дополнительное количество радиоактивных веществ будет составлять доли процента от существующего загрязнения окружающей среды зоны отчуждения, обусловленного радиоактивными выпадениями 1986 г. Так, максимальное объемное загрязнение воздушной среды на расстоянии 30 км (на границе зоны отчуждения) от объекта "Укрытие" составит около $0,003 \text{ Бк/м}^3$ ^{137}Cs , $0,002 \text{ Бк/м}^3$ ^{90}Sr и $0,00016 \text{ Бк/м}^3$ альфа-излучающих трансурановых элементов (ТУЭ). Также несущественным является и дополнительное загрязнение прилегающих территорий при строительстве ХОЯТ ВВЭР [37]. Так, на расстоянии 2000 м от места проведения работ дополнительное загрязнение составит всего $0,01 \%$ от величины существующего загрязнения, обусловленного выбросами при аварии на 4-м энергоблоке ЧАЭС в 1986 г.

При нормальной эксплуатации ЗПЖРО [35] выбросы радионуклидов составят не более 16,5 Бк/ч, т.е. исходя из работы 250 сут в год – $9,9 \cdot 10^4$ Бк/год. Повышение концентрации радионуклидов в воздухе близлежащей зоны будет незаметно на уровне существующих в настоящее время концентраций $\sim 10^{-2}$ Бк/м³. Воздействие от выпадений из выбросов при эксплуатации ЗПЖРО также пренебрежимо мало. Даже при консервативном предположении, что все выбросы при нормальной эксплуатации ($9,9 \cdot 10^4$ Бк/год) загрязняя площадь, равную удвоенной площади ЗПЖРО (около 4800 м²), суммарный уровень поверхностного загрязнения за 20 лет существования завода (без учета миграции радионуклидов) составит около 400 Бк/м², что будет соответствовать приблизительно 0,2 % от существующего среднего загрязнения грунтов вокруг ЗПЖРО.

Исходным событием, приводящим к аварии с наибольшим выбросом, является землетрясение. При условии максимального разрушения оборудования ЗПЖРО при такой аварии выброс может составить величину до $1,5 \cdot 10^{10}$ Бк. Это приведет к получению дополнительной дозы на расстоянии 10 км (граница санитарно-защитной зоны) равной 0,3 мЗв, а на расстоянии 30 км (граница зоны отчуждения) – 0,02 мЗв, что существенно меньше предела доз даже при нормальной эксплуатации. Проведенный анализ показал соответствие технических решений, заложенных в проект ЗПЖРО, требованиям нормативной базы Украины, и что как при нормальной эксплуатации, так и при возможных аварийных ситуациях существенного воздействия на окружающую природную среду не предполагается.

При эксплуатации НБК наибольшую опасность будут представлять возможные выбросы, особенно при производстве работ по демонтажу и удалению ТСМ. Внешнее гамма-облучение будет сказываться только в ближней зоне. Сбросов при эксплуатации НБК не предполагается. Поэтому для планирования дальнейшей деятельности при эксплуатации НБК была оценена величина допустимых выбросов на протяжении всего жизненного цикла [36]. В основу оценки допустимых выбросов была предложена квота предела доз 40 мкЗв (для предприятий по переработке РАО) для населения за пределами 10 км зоны отчуждения, исходя из консервативных предположений, что за период жизненного цикла НБК размеры зоны отчуждения могут уменьшиться. Необходимо отметить, что бета-излучатели имеют существенно меньшие периоды полураспада, а альфа-активность вообще продолжает увеличиваться за счет накопления ²⁴¹Am в результате бета-распада ²⁴¹Pu. Соответственно на протяжении жизненного цикла НБК вклад доз от альфа-излучателей в суммарную дозу 40 мкЗв/год будет возрастать, а бета-излучателей – уменьшаться. Вследствие этого допустимый выброс бета-излучателей за 100 лет уменьшится с 3,6 до 0,7 Ки, а допустимый выброс альфа-излучателей за этот период увеличится с менее 0,09 Ки до более чем 0,16 Ки [36].

Допустимый выброс определяется, в основном, внутренним облучением за счет воздушного пути загрязнения сельскохозяйственной продукции и ингаляционного поступления радионуклидов, причем вклад последнего возрастает со временем. Существенно меньше составляет доза за счет загрязнения водной среды в результате выбросов (потребление воды и рыбы), корневого загрязнения сельхозпродуктов, внешнего облучения.

Доза за счет поступления по растительной и мясной цепочкам определяется, в основном, ¹³⁷Cs (8,3 мкЗв/год) и ⁹⁰Sr (5,6 мкЗв/год). Доза от альфа-излучающих нуклидов составляет примерно 5,2 мкЗв/год, в основном за счет ²⁴¹Am.

Анализ проектных выбросов эксплуатации ХОЯТ ВВЭР [37] показал, что даже при очень консервативном подходе (постоянное направление ветра, естественный распад и миграция радионуклидов не учитываются) максимальное дополнительное загрязнение прилегающих территорий изотопами цезия за 100-летний период эксплуатации ХОЯТ ВВЭР не превысит 12 Бк/м² [3], что является пренебрежимо малой величиной, на несколько порядков меньше существующего уровня загрязнений.

Расчет радиационных воздействий на воздушную среду при максимальной проектной аварии показывает, что объемная активность изотопов цезия на ближайшей границе зоны отчуждения достигнет величины 10 – 50 Бк/м³ (при размещении ХОЯТ ВВЭР в зоне отчуж-

дения, вблизи хранилища "Вектор"), что соответствует 30 – 50 % от современного уровня поверхностного загрязнения. Необходимо учитывать то, что повышение концентрации в воздухе будет кратковременным и не приведет к опасным воздействиям на окружающую среду. Однако при этом максимальное дополнительное поверхностное загрязнение почвенного покрова ^{137}Cs достигнет величины 500 кБк/м^2 и будет наблюдаться уже на расстоянии $\sim 3000 \text{ м}$ от объекта. То есть при размещении ХОЯТ ВВЭР не на территории зоны отчуждения, а в другом районе Украины такое развитие событий привело бы к радиоактивному загрязнению территорий и значительному материальному и моральному ущербу. Поэтому наиболее оптимальным является строительство ХОЯТ ВВЭР в зоне отчуждения.

В работах [38, 39] на основании доступных данных было проведено математическое моделирование суммарных воздействий современной техногенной деятельности в чернобыльской зоне отчуждения на окружающую среду. Было установлено, что основным видом влияния является атмосферный перенос радионуклидов. Основные выводы проведенного анализа следующие: на фоне существующих потоков радионуклидов за границы зоны, вклад компоненты, которая обуславливается техногенной деятельностью, чрезвычайно мал; в нормальных условиях строительства и эксплуатации новых и действующих сейчас объектов техногенной среды, дополнительное поверхностное загрязнение грунта на границе 30-километровой зоны отчуждения не будет превышать $10^{-3} \%$ от радиоактивного загрязнения данных территорий вследствие аварии на ЧАЭС в 1986 г.

Заключение

Предложен системный подход к исследованиям в области повышения радиационной безопасности при реализации практической деятельности на ЧАЭС и в зоне отчуждения. В целом разработанный в ИПБ АЭС методический подход к решению задачи обеспечения радиационной безопасности при планировании и производстве работ в радиационно-опасных условиях себя оправдал, что подтверждается его успешным применением при анализе безопасности и оценке воздействий на окружающую среду во многих проектах. Однако постоянно повышающиеся требования к радиационной безопасности и обновляемая непрерывно нормативная база требуют его постоянного совершенствования.

Нерешенными даже на концептуальном уровне остается много проблем. Прежде всего, это перспективы дальнейшего извлечения ТСМ при помощи систем НБК и способ окончательного преобразования объекта "Укрытие" в экологически безопасную систему. Если говорить о деятельности в зоне отчуждения ЧАЭС, то к таким проблемам относятся обращение с ПВЛРО и сильно загрязненными участкам территории, выбор наиболее эффективного варианта дальнейшего использования зоны отчуждения.

В частности, представляется целесообразным рассмотрение вопроса использования загрязненной территории зоны отчуждения для нужд атомной энергетики, в том числе для строительства долгосрочного хранилища высокоактивных отходов, которые будут возвращать в Украину из России после переработки отработанного ядерного топлива украинских АЭС. Не исключенная возможность использования этой территории и для строительства новых энергоблоков с использованием существующей инфраструктуры ЧАЭС. Целесообразно рассмотреть возможность создания в зоне отчуждения и других объектов с радиационными технологиями, например современного исследовательского реактора для нужд науки, в том числе прикладной (нейтронная физика), промышленности (нейтронная радиография), медицины (наработка радиоизотопов) и других отраслей. Для более основательного изучения этих вопросов необходимы специальные исследования, в первую очередь создание и пополнение базы данных радиационной обстановки в зоне отчуждения, а также проведение технико-экономических исследований альтернативных вариантов использования зоны отчуждения. Экономически эффективное использование зоны отчуждения позволило бы, кроме всего прочего, изыскать внебюджетные средства для решения дорогостоящей задачи окончательного преобразования объекта "Укрытие" и зоны в целом в экологически безопасную систему.

Существует и ряд проблем, которые необходимо учитывать в ходе планирования деятельности в зоне отчуждения. Так, отсутствие обобщенных данных о техногенной деятельности на территории зоны отчуждения может препятствовать выполнению адекватных оценок состояния окружающей среды в зоне отчуждения.

Проведение работ в зоне отчуждения требует усовершенствования системы мониторинга окружающей среды. На сегодня отсутствует единая система координации наблюдений на региональном, локальном и объектном уровнях, что практически делает невозможным быстрое обеспечение информацией для принятия эффективных управленческих решений. В связи с этим целесообразно разработать систему, которая обеспечивала бы координацию наблюдений, а также способствовала бы быстрому информационному обмену между субъектами системы мониторинга и лицами, принимающими решения. Данная система должна также включать ведение единой базы данных проводимых наблюдений.

10-летний опыт исследований указывает на необходимость постоянного развития используемых методов и методик с учетом результатов, полученных в процессе практической деятельности. Описанный системный подход и разработанные методики могут быть эффективно использованы и при решении задач обеспечения радиационной безопасности на действующих объектах атомной энергетики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Разработка технологий безопасного выполнения работ по стабилизации объекта "Укрытие": (Отчет о НИР) / МНТЦ "Укрытие" НАН Украины. - Тема 1.3. - Чернобыль, 1998.*
2. *Оценка радиологических рисков при выполнении радиационно-опасных работ на объекте "Укрытие" и разработка комплекса мероприятий по противорадиационной защите персонала: (Отчет о НИР) / МНТЦ "Укрытие" НАН Украины. - Чернобыль, 2001.*
3. *Оптимизация противорадиационной защиты и вероятностный анализ безопасности при осуществлении деятельности по преобразованию объекта "Укрытие": (Отчет о НИР) / ИПБ АЭС НАН Украины. - Чернобыль, 2004.*
4. *Ключников А.А., Щербин В.Н., Рудько В.М. и др. Анализ радиационной безопасности в процессе производства работ по стабилизации // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. - 2004. - Вип. 1. - С. 24 - 34.*
5. *Батий В.Г., Павловский Л.И., Правдивый А.А. и др. Проблемы радиационной безопасности в условиях объекта "Укрытие" и пути их решения // Там же. - 2005. - Вип. 3, ч.1. - С. - 24 - 30.*
6. *Батий В.Г. Развитие методов повышения радиационной безопасности при реализации практической деятельности на объекте "Укрытие" // Там же. - 2006. - Вип. 5. - С. 119 - 128.*
7. *Батий В.Г., Деренговский В.В., Егоров В.В. и др. Соблюдение принципа непревышения // Проблемы Чорнобиля. - 2000. - Вип. 6. - С. 36 - 43.*
8. *Рудько В.М., Батий В.Г., Деренговский В.В. и др. План управления ALARA // Там же. - 2003. - Вип. 12. - С. 121 - 126.*
9. *Батий В.Г., Павловский Л.И., Рудько В.М. Методика применения принципа оптимизации в процессе преобразования объекта "Укрытие" // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. - 2006. - Вип. 4. - С. 87 - 93.*
10. *Ключников А.А., Щербин В.Н., Рудько В.М. и др. Концептуальный проект извлечения топливосодержащих материалов и обращения с радиоактивными отходами объекта "Укрытие" (проект "Старт") // Проблемы Чорнобиля. - 1998. - Вип. 2. - С. 11 - 23.*
11. *Алешин А.М., Батий В.Г., Ключников А.А. и др. Анализ концептуальных проектов преобразования объекта "Укрытие" // Наукові та технічні аспекти міжнародного співробітництва в Чорнобилі: Зб. наук. ст. - Славутич: Укратомвидав, 2000. - С. 283 - 288.*
12. *Батий В.Г., Подберезный С.С., Рудько В.М. и др. Перспективы извлечения топливосодержащих материалов из объекта "Укрытие" с использованием систем нового безпарного конфинемента // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. - 2007. - Вип. 7. - С. 76 - 84.*
13. *Conceptual Design (Technical and Economic Assessment) of Safe Confinement. Explanation report. SIP K 00 21 000 001 01.*
14. *Батий В.Г., Кочнев Н.А., Рындюк А.А. Влияние основных источников излучения на радиационную обстановку в деаэрационной этажерке объекта "Укрытие" // Проблемы Чорнобиля. - 2000. - Вип. 6. - С. 74 - 84.*

15. *Балан О.В., Батий В.Г., Глебкин С.И. и др.* Оценка эффективности экранирования протяженных источников гамма-излучения // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. – 2005. – Вип. 2. – С. 61 – 68.
16. *Батий В.Г., Федорченко Д.В.* Моделирование изменения радиационной обстановки при производстве земляных работ на радиоактивно загрязненной территории // Там же. – 2004. – Вип. 1. – С. 65.
17. *Батий В.Г., Глебкин С.Е., Егоров В.В. и др.* Влияние основных источников излучения на радиационную обстановку в зоне монтажа нового безопасного конфайнмента // Там же. – 2006. – Вип. 4. – С. 44 – 53.
18. *Batiy V.G., Fedorchenko D.V.* Simulation of radiation conditions in contaminated rooms // Problems of atomic science and technology. Series “Nuclear physics investigations”. – 2005. – № 6 (45). – P. 63 – 65.
19. *Батий Е.В., Ермоленко А.А., Котляров В.Т.* Информационная модель объекта “Укрытие” // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. – 2008. – Вип. 9. – С. 140 – 143.
20. *Батий В.Г., Деренговский В.В., Малахов Ю.В.* Методика выбора оптимальных решений при производстве работ в радиационно-опасных условиях // Там же. – 2006. – Вип. 6. – С. 77 – 81.
21. *Батий В.Г., Егоров В.В., Рубежанский В.В.* Математическое моделирование процесса распространения радиоактивных аэрозолей внутри радиационно-опасных объектов // Там же. – 2007. – Вип. 7. – С. 55 – 61.
22. *Batiy V., Pravdivyj O., Stoyanov O. et. al* A Practical Method for Measuring Angular Distribution of Radiation from Multiple Gamma Sources // 2007 Waste Management Symposium, CD. – 2007. #7160 <http://www.wmsym.org/abstracts/2006/index.html>
23. *Батий В.Г., Правдивый А.А., Рудько В.М. и др.* Методика измерений угловых распределений гамма-излучения с применением полупроводниковых детекторов // Сб. науч. тр. СНИЯиП. – Севастополь: СНИЯЭиП, 2007. – № 4(24). – С. 13 - 20.
24. *Батий В.Г., Стоянов А.И., Правдивый А.А. и др.* Определение характеристик поверхностно загрязненных объектов в условиях высокого гамма-фона // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. – 2007. – Вип. 8. – С. 150 - 153.
25. *Батий В.Г., Батий Е.В., Котляров В.Т., Рудько В.М.* Современные web-технологии и экологическая безопасность объектов атомной энергетики // Там же. – 2004. – Вип. 1. – С. 113 - 117.
26. *Батий В.Г., Батий Е.В.* Нейронно-сетевая модель процесса измерения угловых распределений интенсивности гамма-излучения. // Там же. – 2008. – Вип. 9. – С. 28 - 30.
27. *Батий В.Г., Деренговский В.В., Малахов Ю.В.* Методика выбора оптимальных решений при производстве работ в радиационно-опасных условиях // Там же. – 2006. – Вип. 6. – С. 77 - 81.
28. *Деренговский В.В.* Применение метода экспертных оценок при проектировании и организации радиационно-опасных работ по преобразованию объекта “Укрытие” // Там же. – 2007. – Вип. 7. – С. 90 - 95.
29. *Алешин А.М., Батий В.Г., Глухенький В.Н. и др.* Анализ безопасности реализации проекта стабилизации опорных узлов блоков балок Б1 и Б2 // Проблемы Чернобиля. – 2000. – Вип. 6. – С. 25 - 35.
30. *Ключников А.А., Щербин В.Н., Рудько В.М. и др.* Анализ радиационной безопасности в процессе производства работ по стабилизации // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. – 2004. – Вип. 1. – С. 24 - 34.
31. *Алешин А.М., Батий В.Г., Кочнев Н.А. и др.* Анализ безопасности завода по переработке жидких радиоактивных отходов Чернобыльской АЭС // Наукові і технічні проблеми Чернобиля: Зб. наук. ст. – К.: Політехніка, 2002. – С. 171 - 182.
32. *Batiy V., Rubezhansky Yu., Rud'ko V. et. al.* Preliminary Accident Analysis for Construction and Operation of the Chornobyl New Safe Confinement // Proceedings of American Nuclear Society Topical Meeting on Decommissioning, Decontamination & Reutilization, Denver, USA, August 7 – 11, 2005, p. 210 – 213.
33. *Рудько В.А., Батий В.Г., Кузьменко В.А. и др.* Оценка дополнительных воздействий на окружающую среду и рекомендуемые мероприятия по их минимизации в процессе подготовки площадки для строительства санпропускника // Проблемы Чернобиля. – 2003. – Вип. 12. – С. 106 – 111.
34. *Ключников А.А., Щербин В.Н., Рудько В.М. и др.* Оценка дополнительных воздействий на окружающую среду в процессе реализации работ по стабилизации объекта “Укрытие” // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. – 2004. – Вип. 1. – С. 14 – 23.
35. *Алешин А.М., Батий В.Г., Кузьменко В.А. и др.* Воздействие завода по переработке жидких радиоактивных отходов ЧАЭС на окружающую среду // Наукові і технічні проблеми Чернобиля: Зб. наук. ст. – К.: Політехніка, 2002. – С. 183 - 191.

36. *Batiy V., Paskevych S., Rudko V.et. al.* Admissible Release from the Chernobyl New Safe Confinement // Proceedings of American Nuclear Society Topical Meeting on Decommissioning, Decontamination & Reutilization, Denver, USA, August 7 – 11, 2005, p. 214 – 219.
37. *Батий В.Г., Городецкий Д.В., Паскевич С.А. и др.* Экологическое обоснование целесообразности строительства централизованного хранилища отработавшего ядерного топлива реакторов типа ВВЭР в Чернобыльской зоне отчуждения // Сб. науч. тр. СНИЯЭиП. - Севастополь: СНИЯЭиП, 2004.- Вып. 12. - С. 197 – 202.
38. *Schmieman E., Paskevich S., Sizov A., Batiy V.* Chernobyl's waste site // Nuclear Engineering International. – 2007. – Vol. 52, No. 631. – P. 18 – 22.
39. *Paskevych S., Gorodecky D., Sizov A., Batiy V.* Impact Assessment of Radiological Consequence of Technogenic Activities in Chernobyl Exclusion Zone // Proceedings "The International Conference on Radioecology and Environmental Radioactivity". Bergen, Norway, 15 – 20 June, 2008. Oral and Oral Poster Presentation. Part 1. – P. 270 – 273.

ДОСЛІДЖЕННЯ В ГАЛУЗІ ПІДВИЩЕННЯ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРАКТИЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В ЗОНІ ВІДЧУЖЕННЯ

В. Г. Батій

Зроблено огляд проведених в ПБ АЕС НАН України за останні 10 років досліджень у галузі підвищення радіаційної безпеки при реалізації практичної діяльності на ЧАЕС і в зоні відчуження. Проведено короткий аналіз існуючих проблем.

Ключові слова: радіаційна безпека, оцінка впливів на навколишнє середовище, Чорнобильська АЕС, об'єкт "Укриття", зона відчуження.

RESEARCH IN AREA OF RADIATION SAFETY INCREASE AT PRACTICAL ACTIVITY AT THE CHNPP EXCLUSION ZONE

V. G. Batiy

A review of ISP NPP 10 years researches in area of radiation safety increase during practical activity at ChNPP and at its Exclusion zone is done. The short analysis of existent problems is carried out.

Keywords: radiation safety, environment impact assessment, Chernobyl NPP, "Ukryttya" object, exclusion zone.

Поступила в редакцію 23.09.08