



## АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА СТАБИЛИЗАЦИИ ОПОРНЫХ УЗЛОВ БЛОКОВ БАЛОК Б1 И Б2

А.М.Алешин, В.Г.Батий, В.Н.Глухенький, В.В.Деренговский,  
Ю.А.Закревский, В.И.Козориз, А.А.Ключников, Н.А.Кочнев, В.А.Кузьменко,  
Л.Л.Лебединский, Л.И.Павловский, Ю.И.Рубежанский, Н.В.Сидоренко,  
В.М.Рудько, А.А.Сизов, А.И.Стоянов, В.Н.Щербин

*Межотраслевой научно-технический центр "Укрытие" НАН Украины, Чернобыль*

Приведены результаты анализа радиационной безопасности, выполненного при подготовке к реализации стабилизации опорных узлов блоков балок Б1 и Б2 в рамках Плана осуществления мероприятий на объекте «Укрытие» (SIP). Проведено сравнение результатов предварительного анализа безопасности с данными, полученными в процессе проведения работ.

### Введение

Стабилизация строительных конструкций является первоочередной задачей для повышения безопасности объекта "Укрытие" Чернобыльской АЭС [1 - 4].

Анализ состояния строительных конструкций объекта "Укрытие", выполненный при подготовке "Предынтегрированного отчета по стабилизационным мероприятиям" [2], позволил выделить основные зоны объекта, требующие усиления. С учетом общей конструктивной схемы объекта составлен перечень 20 основных стабилизационных мероприятий.

Из общего перечня мероприятий по признаку технического состояния конструкций и тяжести последствий возможного их отказа в качестве первоочередных признаны работы по усилению [2]:

- узлов опирания балок Б1 и Б2 по оси 50;
- западного фрагмента (стены по оси 50 с прилегающим к ней каркасом);
- верхнего яруса деаэрационной этажерки;
- южных щитов ("клюшек").

При этом было признано, что усиление узлов опирания балок Б1 и Б2 по оси 50 необходимо осуществлять незамедлительно в первую очередь [5, 6].

Работы по усилению опорных узлов блоков балок Б1 и Б2 были выполнены в конце 1999 г. Это мероприятие явилось первым шагом в стабилизации покрытия над реакторным блоком. Его реализация повысила надежность объекта "Укрытие" и создала предпосылки для осуществления последующих стабилизационных мероприятий.

### Критерии и принципы, положенные в основу анализа безопасности

Особенности сооружения объекта "Укрытие" и недостаточность информации о его текущем состоянии ограничивают возможность применения традиционных подходов к анализу безопасности, развитых для объектов атомной энергетики. Поэтому при анализе безопасности мероприятий по стабилизации использовали количественные и качественные оценки, базирующиеся на существующем уровне знаний об объекте "Укрытие" [1].

В случае неполноты необходимых для анализа исходных данных применяли консервативный подход, при котором для параметров и характеристик принимали значения и пределы, заведомо приводящие к более неблагоприятным результатам.

Основные принципы обеспечения безопасности в условиях радиационного воздействия на персонал, население и окружающую среду сформулированы в Законе Украины "Об использовании ядерной энергии и радиационной безопасности" [8], "Общих положениях обеспечения безопасности атомных станций (ОПБ-88) ПН АЭ Г-1-О11-89" [9], "Нормах радиационной безопасности Украины (НРБУ-97)" [10] и других нормативных документах.

Рекомендации МКРЗ и МАГАТЭ использовали в тех их частях, которые не противоречат требованиям вышеперечисленных документов и направлены на уменьшение радиационного воздействия на персонал, население и окружающую природную среду.

Основные принципы обеспечения ядерной и радиационной безопасности при осуществлении деятельности на объекте "Укрытие" сформулированы в [11] и положены в основу настоящего отчета по анализу безопасности. К ним относятся:

предотвращение ядерного инцидента;

принципы радиационной защиты, заключающиеся в:

1) защите персонала, населения и природной среды согласно требованиям законов, норм и правил, принятых в Украине;

2) реализации принципов ALARA (Выбор проектных решений на основе рассмотрения альтернативных вариантов, предусматривающих минимальные радиологические последствия. Деятельность по реализации любого проекта, включая обеспечение радиационной защиты, не должна приводить к ухудшению условий реализации других проектов. Работы должны планироваться так, чтобы обеспечить минимальное дополнительное радиоактивное загрязнение конструкций и оборудования. Применение технических мероприятий радиационной защиты по мере необходимости. Планирование работ с учетом индивидуальных и коллективной доз облучения.);

3) оценке радиологических последствий для персонала, учитывающих облучение, обусловленное как деятельностью при реализации основной задачи, так и нахождением в зоне отчуждения;

4) оценке радиологических последствий потенциальных аварий для персонала, населения и окружающей природной среды;

принципы обращения с радиоактивными отходами (РАО);

общетехнические принципы, заключающиеся в:

1) создании глубокоэшелонированной защиты;

2) обеспечении качества;

3) обмене опытом;

4) учете человеческого фактора;

5) применении проверенной инженерно-технической практики.

Основным документом, определяющим критерии радиационной безопасности в Украине являются "Нормы радиационной безопасности Украины (НРБУ-97)".

В работах по реализации проектов стабилизации будут принимать участие персонал объекта "Укрытие" и привлекаемый персонал подрядных организаций.

Персонал, выполняющий работы по стабилизации строительных конструкций, относится к категории А - лицам, постоянно или временно работающим с источниками ионизирующих излучений.

При анализе различных факторов воздействия на персонал (внешнее  $\gamma$ -облучение, внутреннее облучение при ингаляционном поступлении радионуклидов, внешнее облучение  $\beta$ -частицами хрусталика глаза, кожи и пр.) было показано, что основным критерием обеспечения радиационной безопасности персонала является непревышение индивидуальной годовой эффективной дозы внешнего облучения всего тела соответствующего предела дозы (не более 50 мЗв за отдельный год - ПД<sub>max</sub> [10]).

### Методическое обеспечение

При разработке ОАБ были использованы:

методика расчета эффективной дозы;

методика оптимизации дозовых пределов;

методика оптимизации экранирования;

методика выбора путей доступа;

методика расчета эквивалентных доз внешнего облучения хрусталика глаза и кожи.

**Методика расчета эффективной дозы** [12] разработана для оценки коллективной эффективной дозы (КЭД) персонала при выполнении стабилизационных мероприятий. Она учитывает рекомендации МАГАТЕ [13] и МКРЗ [14] и предназначена для определения индивидуальных и коллективной эффективных доз с учетом внешнего и внутреннего облучения персонала.

Оценка внешнего облучения проводилась согласно модели равномерного облучения всего тела  $\gamma$ - и  $\beta$ -излучением [10].

Расчет внутреннего облучения выполнен по модели, представленной в Публикации МКРЗ № 66 [14].

Методика позволяет определить целесообразность дополнительных мероприятий по противорадиационной защите (пылеподавление, дезактивация и пр.) с целью минимизации внутреннего облучения.

**Методика оптимизации дозовых пределов** предназначена для определения оптимальной численности персонала и обеспечения минимальной КЭД при проведении работ по стабилизации объекта "Укрытие" в соответствии с принципом ALARA. Она основана на отсутствии регламентации распределения дозы в течение года [10].

Была получена зависимость предотвращенной КЭД от разовой и от дозы на маршруте.

**Методика оптимизации экранирования** направлена на минимизацию КЭД и финансовых затрат в соответствии с принципом ALARA.

Оптимизация экранирования проводится в несколько этапов:

анализ характеристик и источников излучения в зоне производства работ;

выбор оптимального конструктивного и технологического решения;

выбор оптимальной толщины защитного экрана.

В методике оптимизации экранирования приведены результаты анализа характеристик излучения в зонах производства работ. Средняя энергия  $\gamma$ -излучения для различных помещений объекта "Укрытие" оценена значениями  $0,15 \div 0,4$  МэВ [15]. В качестве консервативной оценки принята энергия излучения  $E_{\gamma\text{ср}} = 0,4$  МэВ.

В методике в качестве материала защиты рассмотрены свинец, железо и бетон. Проведен сравнительный анализ их защитных свойств.

Выбор оптимальной толщины защитного экрана проводился с учетом затрат на организацию экранирования. Учтены специфические условия объекта "Укрытие". При оптимизации толщины экрана учитывалась невозможность установки сплошной защиты. Неплотности, через которые излучение проходит без ослабления, учтены введением дополнительного коэффициента  $\chi$ . Это позволило адекватно условиям объекта "Укрытие" оценить толщину защиты.

**Методика выбора путей доступа** предназначена для выбора оптимальных путей доступа. При рассмотрении альтернативных вариантов доступа и выборе оптимального пути учитывались следующие критерии:

использование существующих на объекте "Укрытие" путей доступа;

наиболее низкие значения мощности экспозиционной дозы (МЭД) на маршруте;

минимальное время нахождения в пути (наличие подъемника или других технических средств);

минимально возможная протяженность маршрута;

возможность экранирования маршрута или отдельных его участков;

стесненность движения на маршруте;

минимальные воздействия вредных факторов (запыленность, малая освещенность и пр.) при движении по маршруту;

возможность механизированной подачи грузов.

Методика выбора оптимальных путей доступа основана на комплексном анализе альтернативных маршрутов и возможности экранирования наиболее опасных участков.

Из разработанных путей доступа выбирался основной и дополнительный (для аварийной эвакуации персонала) маршруты.

Методика расчета эквивалентных доз внешнего облучения хрусталика глаза и кожи предназначена для расчета эквивалентной дозы внешнего облучения хрусталика глаза или открытых участков кожи при облучении  $\beta$ -частицами. В методике учитывалось облучение от загрязненных поверхностей и от источников  $\beta$ -частиц, равномерно распределенных по объему воздуха рабочей зоны.

Приведенные методики описаны подробнее в других работах настоящего сборника.

### Состояние зон производства работ

Строительно-монтажные работы и предшествующие им подготовительные работы предстояло выполнять в следующих рабочих зонах:

- строительная площадка в локальной зоне объекта "Укрытие";
- верхние отметки западного фрагмента покрытия;
- зоны производства основных работ.

Был проведен анализ радиационной обстановки в зонах производства работ. На основе имевшихся данных и дополнительных обследований были составлены картограммы радиационной обстановки в локальной зоне (рис. 1) и на кровле объекта (рис. 2). Они были использованы для расчета доз на маршрутах, выборе оптимальных маршрутов, оценки индивидуальных и коллективных доз при проведении работ.

Подробные данные о пространственном распределении МЭД в зоне проведения основных работ отсутствовали, поэтому при расчетах использовались средние значения.

Согласно имевшимся данным, величины МЭД и плотности снимаемых поверхностных загрязнений в зоне опорных узлов блоков балок Б1 и Б2 по оси 50 составляли:

ряд Ж - МЭД от 3,8 до 19 мЗв/ч; снимаемое поверхностное загрязнение вертикальных поверхностей балок -  $\alpha^{\text{загр}}$  от 30 до 120 част./см<sup>2</sup>·мин;  $\beta^{\text{загр}}$  от 9 000 до 30 000 част./см<sup>2</sup>·мин;

ряд П - МЭД от 11 до 43 мЗв/ч; снимаемое поверхностное загрязнение вертикальных поверхностей балок -  $\alpha^{\text{загр}}$  от 120 до 380 част./см<sup>2</sup>·мин;  $\beta^{\text{загр}}$  от 38 000 до 120 000 част./см<sup>2</sup>·мин.; снимаемое поверхностное загрязнение оголовка стены -  $\alpha^{\text{загр}}$  - 150 000 част./см<sup>2</sup>·мин;  $\beta^{\text{загр}}$  > 450 000 част./см<sup>2</sup>·мин.

Консервативная оценка вклада снимаемого поверхностного загрязнения в МЭД на расстоянии 0.1 м от поверхности площадью 12.5 м<sup>2</sup> составляла по ряду Ж – около 0.1 мЗв/ч, по ряду П – 0.4 мЗв/ч, что значительно меньше измеренных значений МЭД.

Был сделан вывод, что основными источниками  $\gamma$ -излучения, обуславливающими дозу внешнего облучения при производстве работ, являются:

- радиоактивные материалы, находящиеся внутри объекта "Укрытие", на кровлях машинного зала и лестнично-лифтового блока;
- рассеянное излучение;
- поверхностное загрязнение конструкций и материалов;
- отдельные локальные источники.

Влияние различных источников излучения на радиационную обстановку в зонах проведения основных работ оценить довольно сложно в связи с отсутствием данных по угловым распределениям  $\gamma$ -излучения.

По данным [1], в центральном зале (ЦЗ) имеются множественные источники ионизирующих излучений, которые нельзя интерпретировать как точечные источники. Это не позволяет произвести корректный расчет вклада излучения от этих источников в МЭД.

Однако, учитывая максимальные значения МЭД в ЦЗ (4,5 ÷ 17 Зв/ч), расстояние до мест производства работ (25 ÷ 65 м) и исходя из того, что зоны производства работ расположены в прямой видимости от завалов ЦЗ, можно сделать вывод, что эта составляющая мощ-

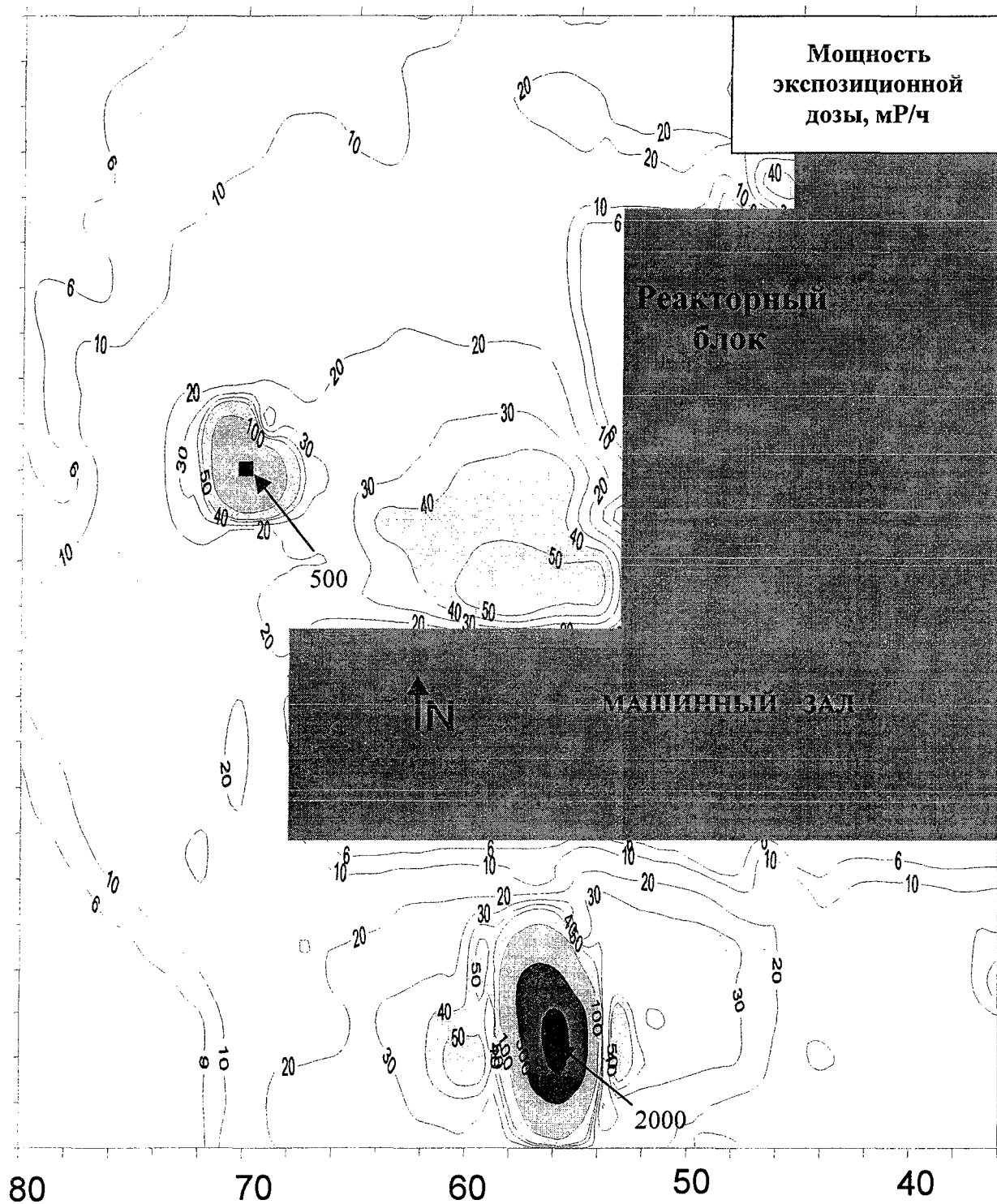


Рис. 1. Карта радиационной обстановки промплощадки объекта «Укрытие» по данным на 12 ноября 1998 г.

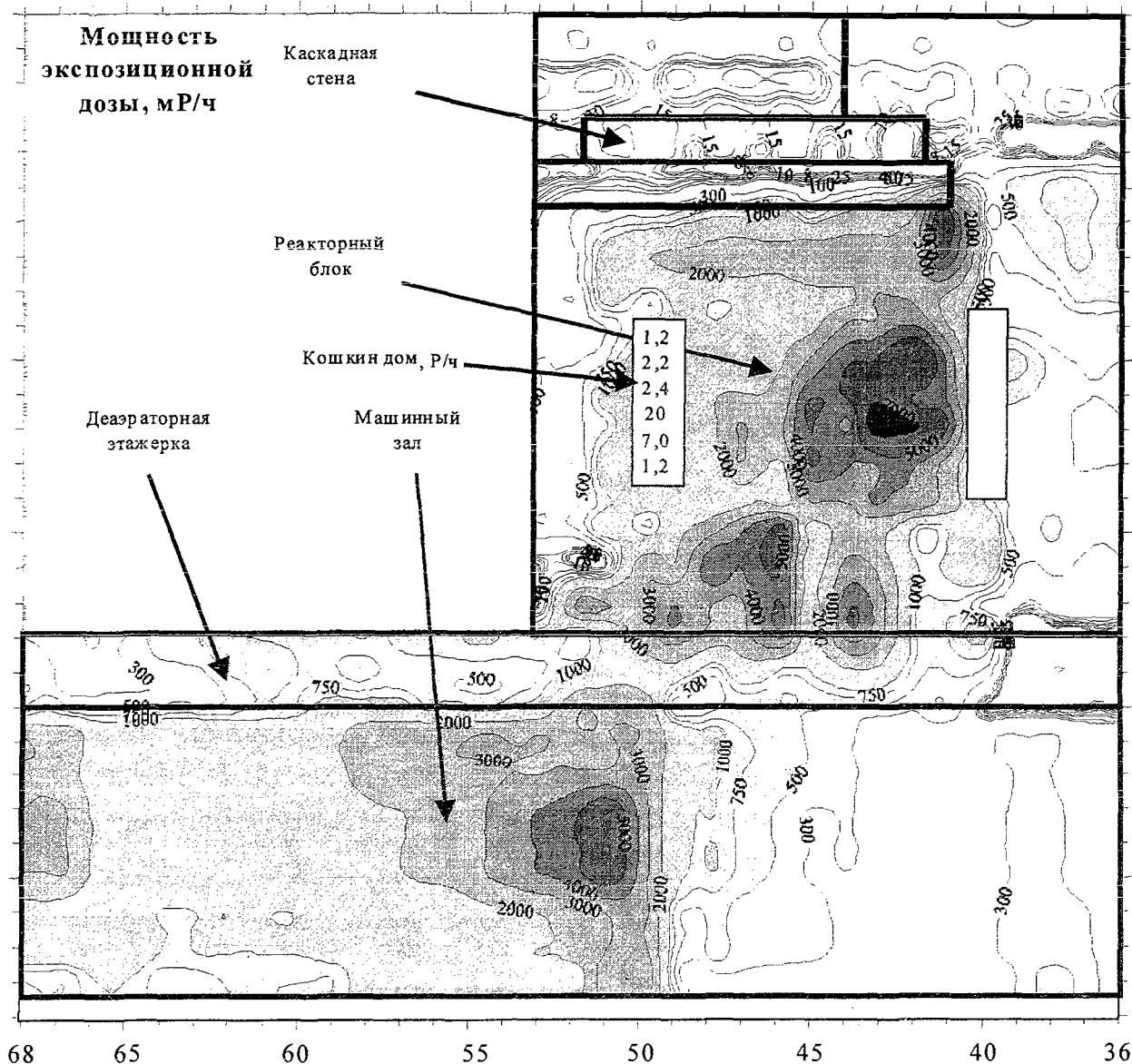


Рис. 2. Карта радиационной обстановки на кровлях объекта «Укрытие» и уступах каскадной стены по данным на 24 сентября 1998 г., мР/ч (в районе «кошкин дом» - Р/ч).

ности дозы будет определяющей в формировании МЭД в зонах производства основных работ.

Учитывая сложную и не полностью определенную геометрию расположения скоплений топливосодержащих материалов (ТСМ), невозможно произвести и оценку вклада от излучения, рассеянного строительными конструкциями. По нашим оценкам вклад рассеянного на близлежащих конструкциях излучения может составлять не более нескольких процентов.

Данные об угловых распределениях  $\gamma$ -излучения в локальной зоне [16] указывают, что основной вклад в МЭД дает излучение от материалов внутри объекта "Укрытие". Вклад рассеянного в воздухе излучения намного меньше.

Поверхностную загрязненность материалов определяют  $\beta$ -излучатели  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{241}\text{Pu}$  и  $\alpha$ -излучающие радионуклиды  $^{238-240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ . Плотность поверхностного загрязнения изменяется в широком диапазоне и зависит от характера загрязненной поверхности (до- или

послеаварийный), условий загрязнения. Суммарная плотность поверхностного загрязнения, определяемая прочнофиксированной и снимаемой составляющими, в зонах производства работ неизвестна.

### **Противорадиационная защита персонала**

Обеспечение радиационной безопасности осуществляется выполнением организационных, технических и радиационно-гигиенических мероприятий на основании нормативно-технической и эксплуатационной документации объекта "Укрытие".

Обязательные мероприятия по противорадиационной защите персонала включают:

- подготовку персонала;
- применение основных и дополнительных СИЗ;
- обеспечение оборудованием и средствами коллективной и личной гигиены;
- подготовку рабочих мест;
- организацию безопасного производства работ;
- организацию медицинской помощи;
- допуск к производству работ;
- контроль и надзор;
- радиационно-дозиметрический контроль и мониторинг;
- радиационно-технологический контроль;
- деактивацию загрязненного оборудования.

Ниже приведен перечень дополнительных мероприятий, выполняемых с целью минимизации КЭД в соответствии с принципом ALARA:

- экранирование;
- оптимизация путей доступа;
- пылеподавление мест производства работ и путей доступа;
- использование спецвентиляции;
- оптимизация разового дозового предела;
- предварительная специализированная подготовка персонала;
- защита расстоянием.

Результаты проведенного анализа показали, что:

- 1) предлагаемый перечень выбранных мероприятий по снижению КЭД персонала достаточен и соответствует современному уровню организации радиационной защиты;
- 2) основными путями сокращения КЭД являются технические мероприятия;
- 3) эффективность указанных мероприятий различна. Наиболее эффективными являются мероприятия по пылеподавлению, использование лифта, экранирование и отказ от работ по демонтажу экранирующих устройств и переходных площадок;
- 4) основной вклад в предотвращенную дозу вносит применение пылеподавления (более 2,3 Зв). Поэтому к этим мероприятиям должны быть предъявлены особые требования, заключающиеся в использовании пылеподавляющих составов, позволяющих на длительное время с большой эффективностью уменьшить пылеобразование в местах выполнения работ;
- 5) уменьшение обратного действия загрязненных дополнительных СИЗ на персонал и минимизация распространения радиоактивных веществ в окружающую природную среду обеспечит организация саншлюза в защитном боксе.

Предложенные мероприятия позволили снизить КЭД облучения персонала более чем на 4,9 Зв.

### **Противорадиационная защита населения и окружающей природной среды**

При анализе безопасности было показано, что выполняемые работы не будут представлять опасности для населения и не окажут заметного воздействия на окружающую природную среду.

Возможны два пути распространения радионуклидов из зон производства работ: воздушный перенос, за счет временного повышения загрязнения воздушной среды при проведении работ, особенно сварочных; механический перенос при обращении с РАО, загрязнении поверхностей машин, механизмов, инструментов, а также СИЗ персонала.

В местах проведения сварочных работ временно увеличивается концентрация радиоактивных аэрозолей. В дальнейшем эти аэрозоли распространяются в окружающую среду. Проведенный анализ прогнозируемого аэрозольного выброса показал, что реализация представленного проекта не несет существенного радиационного воздействия на население и окружающую природную среду.

Для минимизации возможного распространения активностей в окружающую среду наиболее эффективно использовать пылеподавление, местную вентиляцию с фильтрацией воздуха, дезактивацию транспорта и оборудования при выводе из зоны работ.

Было показано, что при проведении работ может образоваться около 3 т низкоактивных короткоживущих отходов, не представляющих серьезной опасности для окружающей среды.

С целью предотвращения повреждения/загрязнения скважин гидрогеологического мониторинга на оголовки обсадных труб (на время проведения работ) устанавливаются защитные железобетонные колпаки.

### Анализ аварийных ситуаций

Проведенный анализ возможных аварий при проведении работ указывает, что их вероятность существенно ниже вероятности обрушения кровли из-за повреждения балок Б1 и Б2 в случае отказа от их стабилизации. Последствия таких аварий будут намного меньше, чем в случае обрушения балок. Были предложены мероприятия по их предотвращению и смягчению последствий.

Наибольшую потенциальную опасность представляет падение крана под действием ветровых нагрузок.

Вероятность падения башенного крана на объекте "Укрытие" с места отстоя под действием ветровой нагрузки оценивается величиной  $0.0013 \text{ год}^{-1}$  (без применения специальных мер по дополнительному укреплению крана).

Вероятность отказа узлов зоны опирания балок Б1, Б2 составляет величину  $0.13 \div 0.16 \text{ год}^{-1}$  [2]. При падении крана с места отстоя в сторону объекта только конец стрелы может задеть основание контрфорсной стены. Во время отстоя механизмы поворота стрелы крана находятся в расторможенном состоянии, вес стрелы крана уравновешен контргрузом. Поэтому удар по контрфорсной стене может привести только к локальным деформациям в нижней части стены между рядами М и П. Однако если предположить, используя консервативный подход, что удар конца стрелы приведет к тем же радиологическим последствиям, что и отказ зоны опирания балок Б1 и Б2, то риск такой аварии при отстое крана (без закрепления) в течение года более чем на два порядка меньше риска обрушения объекта "Укрытие" по другим причинам.

Использование башенного крана КБ-676А-2-2 при проведении работ возможно при соблюдении дополнительных требований и ограничений, а именно:

постоянное метеосопровождение работы крана, включающее своевременное представление руководителю работ штормовых предупреждений и краткосрочных прогнозов на возможно близкий период времени;

прекращение работы при скорости ветра более  $10,0 \text{ м/с}$  на высоте  $10 \text{ м}$  над поверхностью земли. Перевод крана из рабочего в стояночное положение занимает  $1 \text{ ч}$  (консервативно). Вероятность падения крана на объект "Укрытие" в этот период вследствие превышения допустимой ветровой нагрузки составит величину не более  $4.6 \cdot 10^{-6}$ .



Вероятность других исходных событий, которые также могут привести к падению крана (землетрясение, торнадо, падение летательного аппарата и т.д.) в указанный промежуток времени, значительно меньше;

ограничение времени пребывания крана на рабочей площадке. При перерывах в работе на одну или несколько смен кран переводится в стояночное положение;

дополнительное раскрепление крана на месте отстоя. Рекомендуется дополнительно раскреплять кран с помощью специального устройства или конструкции, например системой оттяжек;

уменьшение высоты башни крана. При длительных перерывах в работе (несколько месяцев) предлагается демонтировать две верхние секции башни крана штатными устройствами. Высота крана уменьшится на 12 м, при этом допустимое ветровое давление для нерабочего состояния может быть увеличено примерно в полтора раза по сравнению с нормированным. Это повысит запас устойчивости крана;

выполнение монтажных работ преимущественно в режиме управления краном из кабины для снижения вероятности ошибок персонала.

Перечисленные выше требования и ограничения с учетом специфических условий объекта "Укрытие" должны быть отражены в инструкции по безопасному ведению работ для машиниста крана и регламенте использования крана.

При соблюдении указанных дополнительных требований и ограничений будет обеспечена радиационная безопасность персонала и окружающей природной среды при проведении работ.

#### **Сравнение результатов предварительного анализа безопасности с данными, полученными в процессе проведения работ**

Анализ результатов выполненных работ указывает, что предложенные мероприятия позволили обеспечить радиационную безопасность персонала при проведении работ.

Индивидуальная эффективная доза при проведении работ в локальной зоне не превысила 30 мЗв (в среднем около 6 мЗв), в зоне проведения основных работ - 40 мЗв (в среднем 14 мЗв).

КЭД при работе в локальной зоне составила 520 мЗв (62 % расчетной), в зоне проведения основных работ - 3,0 Зв (55 % 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 коллективной дозы, эффект от реализации многих из которых до проведения самих работ оценить невозможно. Это относится и к подготовке персонала на тренажере.

Реальный вклад значения коллективной дозы персонала объекта "Укрытие" от коллективной дозы прикомандированного персонала (5,2 % для работ в локальной зоне и 11 % для работ в зоне производства основных работ) хорошо совпадает с величиной полученной методом экспертных оценок (10 %).

Выводы о незначительном вкладе внутреннего облучения, сделанные при анализе, подтверждены в ходе контроля поступления радионуклидов в процессе проведения работ. Не было зафиксировано ни одного случая превышения контрольного уровня (КУ) поступления радионуклидов (3300 нКи). Только у двух участников работ зафиксировано превышение уровня в 0,1 КУ (338 и 369 нКи).

Результаты работ в целом подтвердили эффективность предложенных мероприятий, в частности пылеподавления.

В то же время необходимо отметить, что отсутствие подробных исходных данных об угловых и пространственных распределениях интенсивности и спектров  $\gamma$ -излучения в местах производства работ не позволило максимально оптимизировать биозащиту.

Отсутствие полноты исходных данных привело к тому, что только в процессе производства работ было обнаружено наличие под строительным мусором интенсивных источников излучения, обусловивших МЭД до 150 Р/ч. Это вызвало необходимость проведения дополнительных работ по организации его локального экранирования, увеличило сроки проведения работ.

### Заключение

Анализ безопасности реализации проекта усиления опорных узлов блоков балок Б1 и Б2 по осям 50/П и 50/Ж был проведен на основе законов и нормативных документов, действующих в Украине с учетом рекомендуемых МАГАТЭ и МКРЗ принципов и критериев безопасности.

Обеспечение радиационной безопасности персонала осуществлено выполнением организационных, технических и радиационно-гигиенических мероприятий на основании нормативно-технической и эксплуатационной документации объекта "Укрытие".

Перечень рассмотренных дополнительных мероприятий по снижению КЭД персонала достаточен и соответствует современному уровню организации радиационной защиты. Предложенные в соответствии с принципом ALARA дополнительные мероприятия по уменьшению коллективной дозы позволили снизить КЭД персонала (без учета эффекта специальной подготовки персонала на тренажере) примерно на 4,9 Зв. Реальная КЭД, полученная персоналом в процессе проведения работ, составила около 3,5 Зв.

Проведенные расчеты показали, что вклад ингаляционного облучения при условии проведения мероприятий по пылеподавлению и с учетом защитного фактора применяемых СИЗ, составит менее 1 % от суммарной коллективной дозы.

Показано, что работы не приведут к заметному радиационному воздействию на окружающую природную среду. Для минимизации возможного распространения активностей в окружающую среду наиболее эффективны пылеподавление, местная вентиляция с фильтрацией воздуха, дезактивация транспорта и оборудования при выводе из зоны работ.

При проведении работ образуется около 3 т низкоактивных короткоживущих отходов, не представляющих серьезной опасности для окружающей среды.

Проведенный анализ возможных аварий при проведении работ показал, что их вероятность существенно ниже вероятности обрушения кровли из-за повреждения балок Б1 и Б2 в случае отказа от их стабилизации. Последствия таких аварий будут намного меньше, чем в случае обрушения балок. Были предложены мероприятия по их предотвращению и смягчению последствий.

Анализ безопасности показал, что при соблюдении рекомендованных требований и ограничений будет обеспечена радиационная безопасность персонала и окружающей природной среды.

Результаты проведения работ в целом подтвердили выводы, полученные в процессе составления Промежуточного отчета по анализу безопасности [7]. Предложенные методы и подходы могут быть рекомендованы для анализа безопасности проведения различных работ по стабилизации строительных конструкций и преобразованию объекта "Укрытие" в экологически безопасную систему.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анализ текущей безопасности объекта "Укрытие" и прогнозные оценки развития ситуации.* - Чернобыль: ПО "Чернобыльская АЭС", 1996.
2. *Чернобыльская АЭС - блок 4. План осуществления мероприятий на объекте "Укрытие" (SIP). Первоочередные проекты. Пакет А: "Гражданское строительство". Предынтегрированный отчет по стабилизационным мероприятиям,* 1999.
3. *Стратегия преобразования объекта "Укрытие",* 1997.
4. *Стратегия стабилизации состояния объекта "Укрытие",* 1997.

5. *Акт обоснования выполнения первоочередных работ по усилению опор балок Б1 и Б2 по осям 50/П и 50/Ж.* - ОП ЧАЭС, "Объект "Укрытие", технический отдел, инв. № 1454 от 02.08.99.
6. *Проектные критерии для "Интегрированного проекта стабилизации".* Международный консорциум "Чернобыль" - ИСС (МК) JV. 1999.
7. *Промежуточный отчет по анализу безопасности реализации проекта стабилизации опорных узлов блоков балок Б1 и Б2 WBS A01 400000-2.*
8. *Закон Украины "Об использовании ядерной энергии и радиационной безопасности"* (от 08.02.95, № 39/95-ВР).
9. *Общие положения обеспечения безопасности атомных станций (ОПБ-88) ПН АЭ Г-1-О11-89.*
10. *Нормы радиационной безопасности Украины (НРБУ-97).*
11. *Заявление "О политике регулирования ядерной и радиационной безопасности объекта "Укрытие" ОП Чернобыльская АЭС",* Администрация ядерного регулирования. Министерство охраны окружающей природной среды и ядерной безопасности Украины. - Киев, 1998.
12. *Батий В.Г., Деренговский В.В., Кузьменко В.А. и др.* Доза от ингаляционного поступления радиоизотопов при проведении работ на объекте "Укрытие" // Тез. конф. междунар. чернобыльского центра "Международное сотрудничество - Чернобылю", Славутич, 14 - 16 окт. 1999 г., с. 46.
13. *Dose Limits* [http // www.iaea.org/ns/rasanet/informations/doselim.htm](http://www.iaea.org/ns/rasanet/informations/doselim.htm).
14. *ICRP Publication 66. Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection.* - Oxford: Pergamon, 1994.
15. *Кочетков О.А., Дмитренко А.В., Цовьянов А.Г. и др.* Особенности формирования дозы фотонного излучения при внешнем облучении персонала объекта "Укрытие" // Атомная энергия. - 1996. - Т. 80, вып. 4. - С. 283 - 287.
16. *Проведение обследования территории вокруг объекта "Укрытие" и на промплощадке станции методом полевой полупроводниковой спектрометрии: (Отчет по договору № 1216-я от 10.04.91) /* МНТЦ "Укрытие" НАН Украины. - Арх. № 2040.
17. *Анализ безопасности при выполнении работ по проекту стабилизации балок Б1 и Б2: (Отчет) /* "Объект "Укрытие" Чернобыльской АЭС. - Инв. № 532 от 29.12.99.