

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ ПРОТЯЖЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

**О. В. Балан, В. Г. Батий, С. И. Глебкин, В. В. Егоров, Л. И. Павловский,
С. А. Паскевич, А. А. Правдивый, В. М. Рудько, А. И. Стоянов, Д. В. Федорченко**

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль

Предложена методология оценки целесообразности экранирования протяженных источников гамма-излучения для улучшения радиационной обстановки при производстве работ в непосредственной близости от них. Проведен анализ эффективности экранирования радиоактивно загрязненной кровли резервного пульта управления 4-го энергоблока ЧАЭС и показано, что для обеспечения радиационной безопасности организация такого экранирования нецелесообразна.

Введение

При производстве работ по преобразованию объекта "Укрытие" одной из основных проблем является защита персонала от внешнего гамма-излучения. Неопределенность данных о расположении многочисленных скоплений радиоактивных материалов в самом объекте "Укрытие" и на окружающей территории, отсутствие доступа ко многим из них, невозможность применения дистанционно управляемой техники в аварийном объекте и другие причины усложняют задачу организации радиационной защиты.

В процессе реализации проекта стабилизации строительных конструкций объекта "Укрытие" (работы начались в конце 2004 г.) возникла задача, связанная с обоснованием целесообразности или нецелесообразности экранирования и его оптимизацией.

Было предложено для снижения коллективной эффективной дозы (КЭД) персонала при осуществлении деятельности по бетонированию фундаментов ФМ-1 и ФМ-2 в локальной зоне объекта "Укрытие" выполнить экранирование источников, расположенных на кровле резервного пульта управления (РПУ). Предполагалось, что это должно привести к существенному снижению значения мощности экспозиционной дозы (МЭД) на рабочих местах.

В настоящей работе предложен общий методический подход к решению задачи целесообразности/нецелесообразности экранирования протяженных источников и показан пример его применения для анализа эффективности экранирования радиоактивно загрязненной кровли РПУ.

Общий методический подход

Характерной особенностью решения задачи оценки эффективности частичного экранирования протяженного источника для обеспечения радиационной безопасности в протяженной зоне производства работ (ЗПР) является сложность учета изменения вклада разных источников в различных точках этой зоны. Поэтому необходим комплексный анализ всей совокупности имеющихся данных о МЭД и угловых распределениях интенсивности гамма-излучения по всему объему ЗПР (во многих случаях работы выполняются на различных высотных отметках).

На первом этапе необходимо провести анализ распределения МЭД в предполагаемой ЗПР.

Большой градиент в пространственном распределении МЭД может свидетельствовать о наличии интенсивного источника ионизирующего излучения (ИИИ) небольших размеров в непосредственной близости от ЗПР. В этом случае он легко локализуется и его экранирование (или удаление) не представит больших проблем.

В условиях объекта "Укрытие" большая неоднородность в распределении МЭД может быть связана также с нарушением защитных свойств строительных конструкций, выполняющих роль экранов (проломы, выбитые плиты и т.п.). В этом случае детальный анализ МЭД

(или проведение дополнительных исследований) может позволить принять решение о применении защитного экрана для восстановления защитных свойств конструкции.

В случае, когда нет простой возможности идентифицировать ИИИ и оценить его вклад в радиационную обстановку, необходимо провести анализ имеющихся данных об угловых распределениях интенсивности гамма-излучения в ЗПР. Если по всей ЗПР угловые распределения сильно изменяются и не удастся однозначно интерпретировать такие изменения, необходимы дополнительные измерения.

В наиболее простом случае анализ угловых распределений может показать, что в заданном направлении предполагаемый протяженный ИИИ дает подавляющий вклад в МЭД. После этого можно провести физическое моделирование биозащиты в различных точках ЗПР в соответствии с методикой, разработанной в ИПБ АЭС [1]. В результате определяется кратность ослабления в различных точках ЗПР при применении экрана той или иной толщины.

Невысокая эффективность экранирования с увеличением толщины защиты будет свидетельствовать, что данный источник не дает большого вклада в МЭД в ЗПР. Если же в направлении исследуемого протяженного источника есть и другие ИИИ, которые могут давать заметный вклад в МЭД, необходимо провести математическое моделирование процесса экранирования исследуемого источника. Это можно сделать при помощи разработанной в ИПБ АЭС вычислительной программы [2]. Для проверки достоверности данных об угловых распределениях целесообразно провести в отдельных точках физическое моделирование биозащиты и сравнить с математическим моделированием на основе данных об угловых распределениях. Подобная процедура подробно описана в [2].

Определив вклад в МЭД от исследуемого источника в разных точках ЗПР, можно оценить среднюю по ЗПР величину ослабления МЭД при его экранировании и, соответственно, предотвращенную КЭД.

Целесообразность экранирования можно оценить на основе метода "Затраты - выгода" с учетом дозовых затрат на организацию экранирования [1].

Анализ данных о радиационной обстановке в районе РПУ

Определенные выводы о вкладе излучения различных источников в МЭД в ЗПР можно сделать на основании общих закономерностей в распределении МЭД как в самой исследуемой зоне, так и на близлежащей территории.

На рис. 1 показано расположение ЗПР по созданию фундаментов для реализации мероприятия № 2 при стабилизации строительных конструкций объекта "Укрытие".

Картограммы МЭД в локальной зоне [3] указывают, что радиационную обстановку в зоне производства работ определяют, в основном, источники, находящиеся в районе контрфорсной стены, в районе лестнично-лифтового блока (МЭД достаточно плавно убывает по мере удаления от них во всех направлениях), в районе деаэрационной этажерки (ДЭ) и РПУ. Исходя из картограммы МЭД на кровле объекта "Укрытие" [3], они расположены на верхних отметках вблизи лестнично-лифтового блока и на крыше машинного зала.

Повышение МЭД с высотой видно также из измерений МЭД за контрфорсной стеной [3]. Из полученных данных также следует, что МЭД уменьшается по мере удаления от лестнично-лифтового блока.

Все указанные данные свидетельствуют, что значительный вклад в МЭД в локальной зоне создают источники на верхних отметках в районе лестнично-лифтового блока. По мере удаления от лестнично-лифтового блока в северном направлении все больший вклад создают источники за контрфорсной стеной (в центральном зале и, частично, в завалах между контрфорсной стеной и стеной по оси 51'), а в западном - источники на кровле машинного зала.

Анализ данных, полученных персоналом цеха радиационной безопасности (ЦРБ) ЧАЭС 04.02.05 в ЗПР по строительству фундаментов показывает, что на подавляющем

большинстве рабочих мест МЭД будет составлять около 30 мР/ч, что согласуется с данными работ [3] и не зависит от расстояния до кровли РПУ.

Полученные данные подтверждают результаты проведенного выше анализа, которые свидетельствуют о том, что радиационная обстановка в ЗПР определяется, главным образом, множественными протяженными источниками, расположенными на заметном расстоянии от ЗПР.

Значительное повышение МЭД (до 75 - 100 мР/ч) наблюдается только вблизи РПУ на высотах 6 и 8 м (рис. 2 и 3).

Увеличение МЭД в указанных точках может быть связано с наличием локальных источников на кровле РПУ. Определенное влияние может оказывать и увеличение влияние источников на кровле машинного зала.

Значения МЭД на кровле РПУ, измеренные персоналом ЦРБ ЧАЭС, приведены на рис. 1. Минимальные значения МЭД на большей части кровли (50 - 75 мР/ч) указывает на то, что эти МЭД обусловлены протяженными источниками, расположенными на значительном расстоянии.

По краям кровли РПУ заметны локальные источники, наиболее интенсивный из которых расположен в юго-западном углу (400 - 500 мР/ч).

Учитывая то, что между рядами Г и Д значения МЭД на кровле составляют, главным образом, 50 - 75 мР/ч, можно утверждать, что определенный вклад в ЗПР может оказать воздействие источников, расположенных вдоль северного края кровли РПУ, особенно протяженный источник (180 мР/ч) в северо-западном углу кровли.

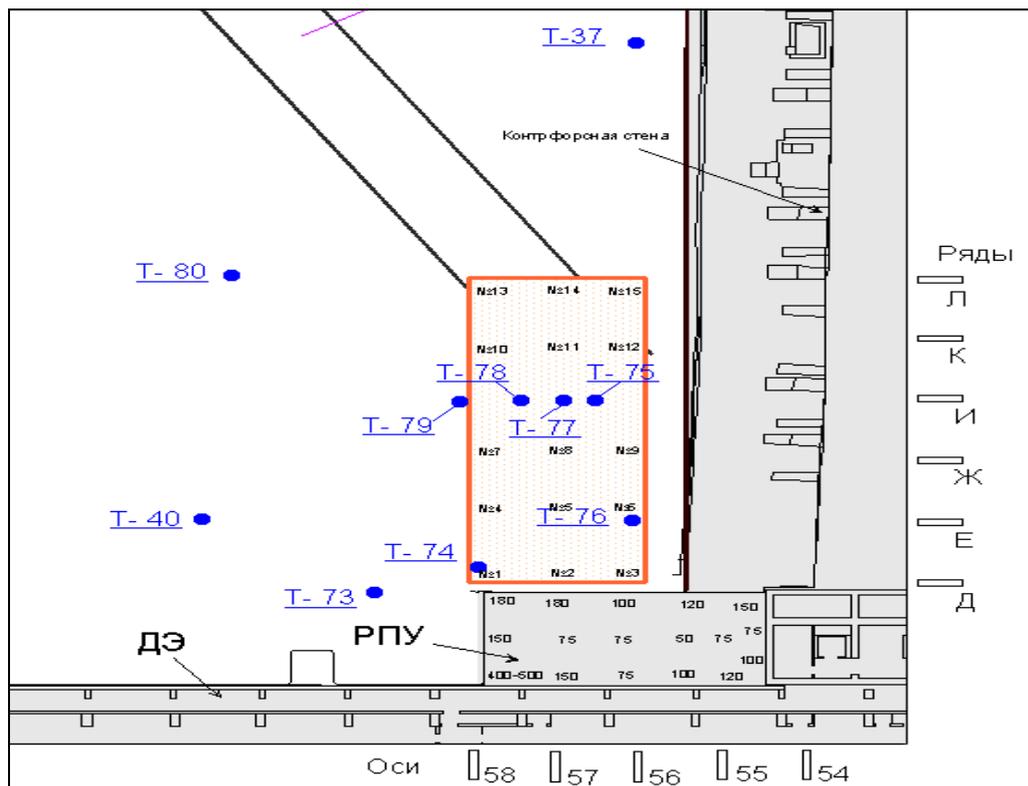


Рис. 1. Расположение точек исследований:

- - место проведения измерений; № 2 - номера точек замеров МЭД; 180 – значения МЭД.

Анализ данных по угловым распределениям в локальной зоне подтверждают сделанные выше выводы.

Так, измерения в точке Д25 возле РПУ (рис. 10, 20 - 23 [3]) указывают на основной источник в верхней части южного края контрфорсной стены (в районе примыкания к лестнично-лифтовому блоку).

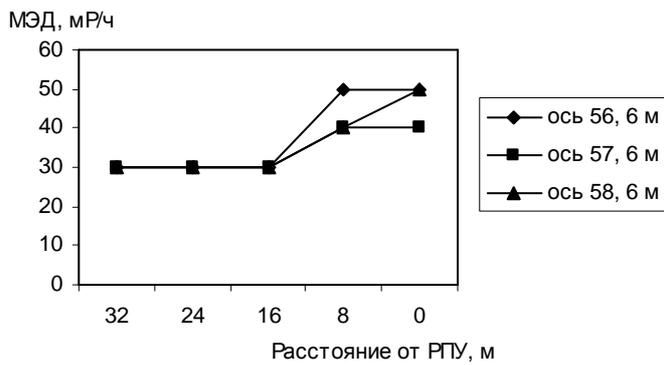


Рис. 2. МЭД в ЗПР на высоте 6 м в зависимости от расстояния до РПУ.

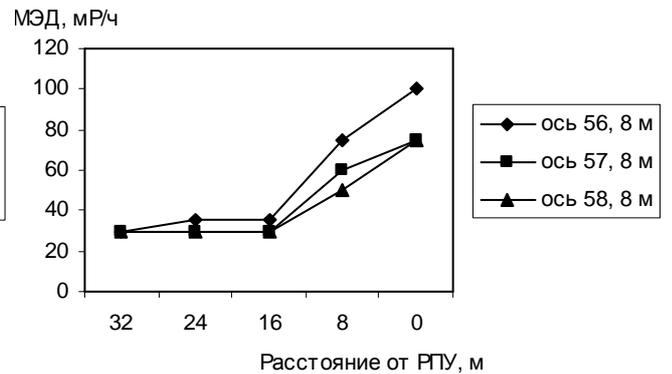


Рис. 3. МЭД в ЗПР на высоте 8 м в зависимости от расстояния до РПУ.

В точке Д26 (рис. 10, 22, 24 - 25 [3]), более удаленной от лестнично-лифтового блока в северном направлении, основное излучение идет от контрфорсной стены.

В измерении с помощью ШД-1 в точке 80 (см. рис. 1), расположенной недалеко от РПУ (рис. 10, 26 [3]), хорошо виден вклад различных источников. Картограмма угловых распределений в этой точке приведена на рис. 4. Основной источник расположен под углом 105° (контрфорсная стена вблизи лестнично-лифтового блока). Меньше вклад от РПУ, машинного зала и остальной части контрфорсной стены. Заметен вклад от рассеянного в воздухе гамма-излучения от основных скоплений ТСМ в объекте "Укрытие" - в верхней полусфере в диапазоне углов $60 - 150^\circ$ по азимуту ("небесного сияния"), т.е. как раз над блоком Б.

Таким образом, анализ данных по угловым распределениям указывает, что на рабочих местах при строительстве фундаментов радиационная обстановка обусловлена влиянием различных источников, прежде всего находящихся за контрфорсной стеной в районе лестнично-лифтового блока.

Результаты дополнительных исследований

Для получения дополнительной информации о характеристиках гамма-поля в зоне производства работ были проведены исследования угловых распределений гамма-излучения и моделирование биозащиты. Точки измерения указаны на рис. 1.

Измерение углового распределения гамма-излучения выполнялось с помощью установки с выносным блоком детектирования гамма-излучений, в коллиматоре на основе дозиметра-радиометра МКС-07 «Пошук». Измерения выполнены согласно методике разработанной в ИПБ АЭС [1, 3].

Результаты измерений показали, что в точке 37 вклад от кровли машинного зала почти сравним с вкладом от источников за лестнично-лифтовым блоком. Эта точка находится ближе других к контрфорсной стене, поэтому эффективная толщина экранирования материалом контрфорсной стены, стены по оси 51' и других конструкций будет значительной. Поэтому вклад в МЭД в точке 37 от источников, расположенных на верхних отметках за контрфорсной стеной, меньше, чем в других, более удаленных точках (своеобразный эффект тени).

В других точках влияние источников за лестнично-лифтовым блоком является определяющим.

Результаты хорошо согласуются с данными ранее выполненных измерений угловых распределений гамма-излучения, полученных при помощи установки ШД-1. Они показали, что на поверхности локальной зоны в ЗПР и вблизи нее заметного влияния от источников на кровле РПУ не будет.

Для уточнения вклада источников на кровле РПУ в МЭД вблизи ЗПР были проведены измерения угловых распределений интенсивности гамма-излучения в точках 37 и 40 (см. рис. 1) при помощи установки ШД-1.

Как видно из рис. 5, в точке 37 основной вклад дают источники в районе лестнично-лифтового блока (азимут примерно 130°), особенно излучение с верхних отметок. Заметно влияние излучения от источников за контрфорсной стеной (азимут $50 - 110^\circ$), также главным образом с верхних отметок. Слабее излучение от машинного зала, особенно западнее РПУ (азимут $200 - 240^\circ$). Излучение от кровли РПУ (азимут $170 - 190^\circ$, угол 10° вверх) существенно слабее. При измерении в точке 40 также заметного влияния кровли РПУ не обнаружено.

Таким образом, измерения при помощи ШД-1 не показали заметного влияния источников на кровле РПУ на радиационную обстановку на поверхности локальной зоны.

Моделирование биозащиты выполнялось согласно методике проведения измерений установкой "Экран", разработанной в ИПБ АЭС НАН Украины [2]. Экранирование производилось свинцовыми экранами толщиной 7,5 и 12 мм. На высоте 11 м измерения проводились при помощи автовышки. Во всех измерениях экранирование снизу составляло 12 мм.

Результаты моделирования показывают, что увеличение толщины экрана с 7,5 до 12 мм не приводит к существенному ослаблению МЭД, что свидетельствует о том, что заметный вклад в МЭД даже на высоте кровли РПУ дают другие источники.

Результаты измерений показали, что эффективность экранирования достигается, в основном, за счет ослабления излучения со стороны лестнично-лифтового блока, а не со стороны РПУ.

Результаты моделирования биозащиты на поверхности локальной зоны показали, что эффективность экранирования 7,5 и 12 мм свинцовыми экранами от излучения в отдельных направлениях незначительна и примерно одинакова. Это свидетельствует о заметном вкладе в МЭД излучения от протяженных источников: при экранировании источника из выбранного направления свинцом толщиной 7,5 мм, вклад от источников из других направлений становится доминирующим и дальнейшее увеличение толщины защиты в выбранном направлении приводит лишь к очень незначительному уменьшению МЭД.

Результаты экранирования свинцом толщиной 12 мм рабочих мест в ЗПР с востока (точки 76 - 79) показывают, что эффективность экранирования на поверхности земли несколько ниже ($K_{осл} = 1,22 - 1,57$), чем на высоте кровли ($K_{осл} = 1,7$).

Все вышеизложенное указывает на то, что реальная эффективность экранирования РПУ будет существенно ниже, чем в эксперименте. Для проверки этой гипотезы было проведено экранирование в точках, в которых проведены измерения при помощи ШД-1.

На рис. 6 приведены результаты физического (при помощи установки "Экран") и математического моделирования биозащиты в точках 37, 40 и 80.

Математическое моделирование проводится с помощью специально разработанной в ИПБ АЭС вычислительной программы на основе данных по угловым распределениям интенсивности гамма-излучения [2]. Программа позволяет вычислять МЭД за защитой произвольной толщины, а также для различных размеров и местоположения плоских защитных экранов.

Удовлетворительное согласие физического и математического моделирования указывает на достоверность математического моделирования экранирования излучения от кровли РПУ и оценки ее эффективности.

Расчеты показали, что при экранировании РПУ свинцом толщиной 10 (20) мм МЭД в точках 37, 40 и 80 уменьшилась на 0,24 % (0,26 %), 2,4 % (2,6 %) и 3,1 % (3,4 %) соответственно. Таким образом, можно утверждать, что в пределах погрешности МЭД на нижних отметках ЗПР при экранировании РПУ не изменится.

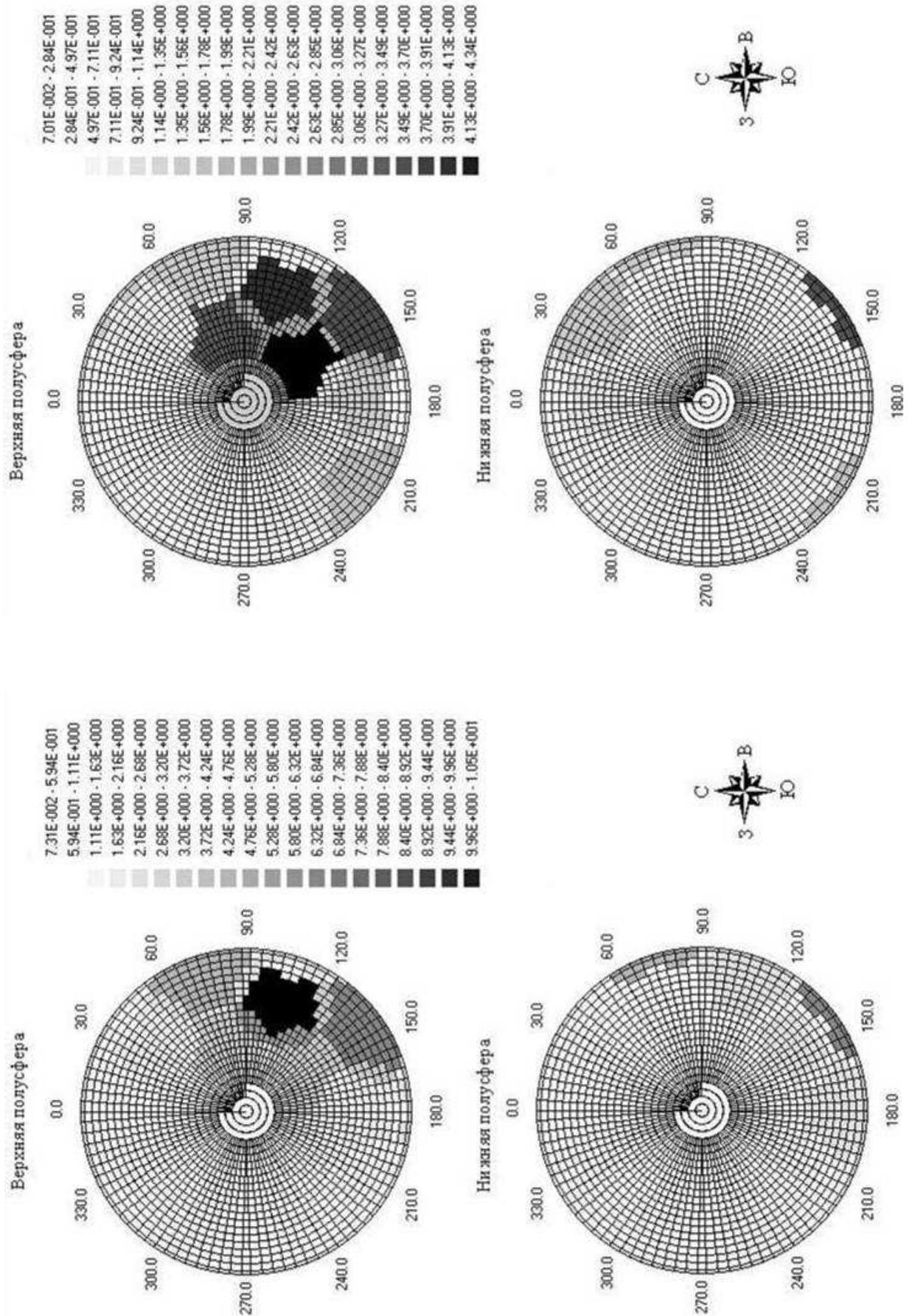


Рис. 4. Картограмма углового распределения МЭД в точке 80.

Рис. 5. Картограмма углового распределения МЭД в точке 37.

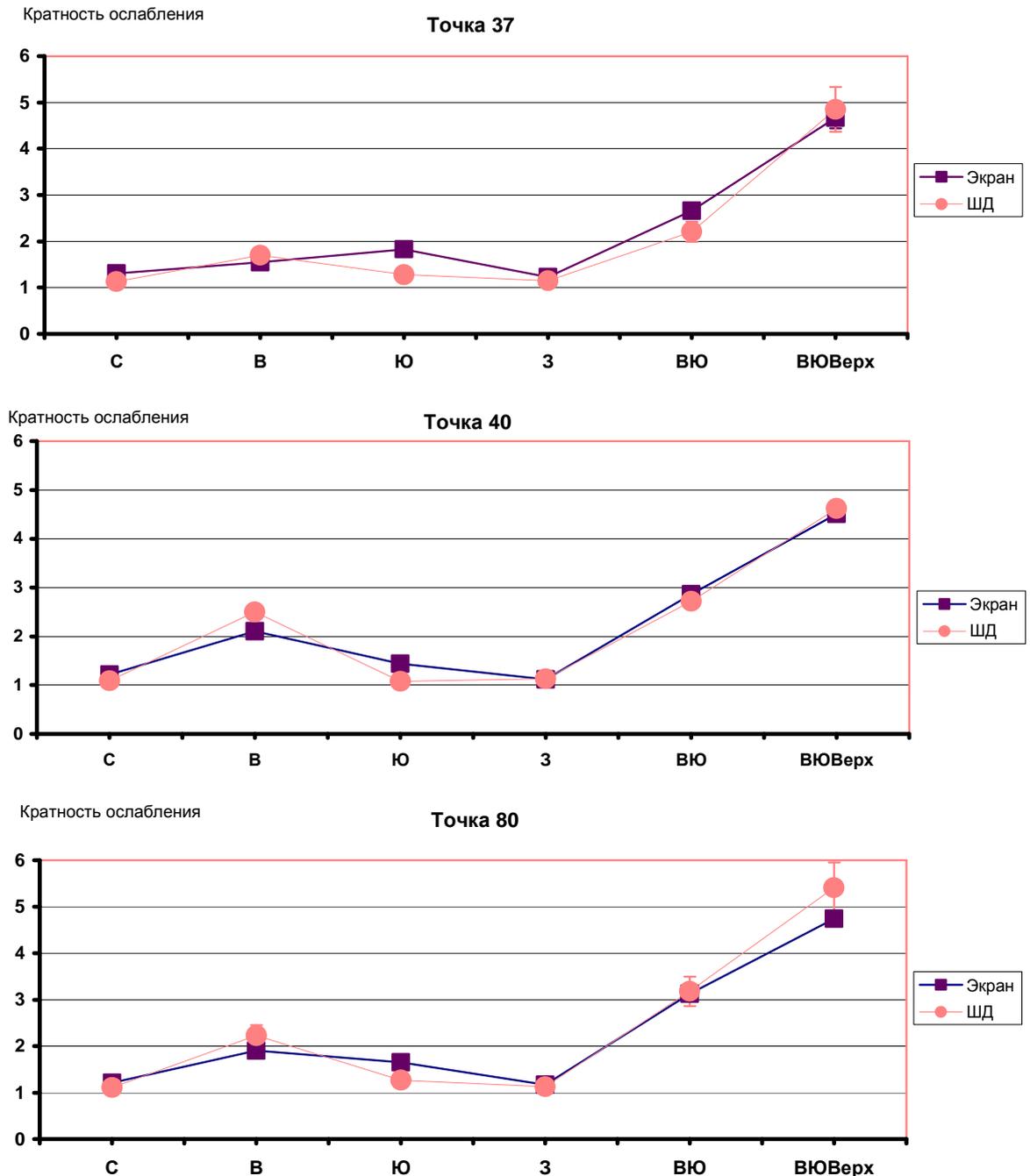


Рис. 6. Результаты физического и математического моделирования биозащиты в точках 37, 40 и 80.

Обоснование целесообразности экранирования

Для проведения анализа целесообразности/нецелесообразности экранирования ЗПР от источников излучения, находящихся на кровле РПУ на базе имеющихся данных по радиационной обстановке и вновь полученных, будем исходить из консервативного подхода. Предположим, что некоторое увеличение МЭД в ЗПР по мере приближения к РПУ обусловлено исключительно излучением источников на его кровле, т.е. пренебрежем увеличением значения МЭД за счет кровли машинного зала, на которой также находятся источники гамма-излучения. Кроме того, предположим, что трудозатраты будут равномерно распределены по всему объему и высоте ЗПР (работы целесообразно организовать таким образом, чтобы больший объем работ проводился на нижних отметках и на максимально возможном удалении от ЗПР).

Было рассчитано среднее значение МЭД без экранирования в ЗПР, которое составило около 33 мР/ч. Если принять еще одно консервативное предположение, что в результате реализации мероприятия по экранированию удастся полностью экранировать источники излучения, находящихся на кровле РПУ, то средняя МЭД будет определяться вкладом протяженных удаленных источников и составит около 30 мР/ч. Таким образом, экранирование РПУ сможет уменьшить КЭД не более чем на 10 %. Необходимо также учесть, что для организации экранирования необходимо будет производить работы вблизи северной стены РПУ. В этом случае среднее значение МЭД в ЗПР по экранированию составит около 63 мР/ч.

Таким образом, для того чтобы был выигрыш в дозе за счет экранирования, трудозатраты на его организацию должны быть менее 5,2 % от трудозатрат при производстве основных работ в ЗПР по строительству плиты ФМ-1.

Необходимо также отметить существенную стоимость такого экранирования, а также увеличение вероятностей различных аварий, так как независимо от конкретных конструкторских и технологических решений для обеспечения экранирования от такого протяженного источника, как кровля РПУ, необходимо будет построить массивный экран длиной около 30 м и высотой около 10 м.

Таким образом, анализ имеющихся данных указывает на нецелесообразность экранирования источников на кровле РПУ.

Выводы и рекомендации

Разработанный методический подход по оценке целесообразности экранирования протяженных источников был практически использован для оценки эффективности экранирования РПУ при производстве работ в локальной зоне.

Анализ всей совокупности имеющихся данных указывает, что радиационная обстановка в ЗПР по строительству фундаментов ФМ-1 и ФМ-2 определяется, главным образом, влиянием протяженных источников, расположенных на заметном расстоянии от ЗПР. Определенный вклад вносят и источники излучения, расположенные на кровле РПУ. Поэтому организация экранирования ЗПР по строительству фундаментов ФМ-1 и ФМ-2 только от источников, расположенных на кровле РПУ, неэффективна.

Представляется целесообразным (при необходимости применения биозащиты, исходя из принципа ALARA) применить экранирование рабочих мест с востока и юга, что приведет к снижению МЭД в два - три раза, а при дополнительном экранировании сверху - в четыре и более раз.

В целом результаты исследований указывают, что и в других случаях экранирование протяженных источников в специфических условиях объекта "Укрытие" представляется маловероятным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батий В.Г., Егоров В.В., Закревский Ю.А. и др. Оптимизация биозащиты с использованием экспериментальных данных об угловых распределениях интенсивности гамма-излучения // Проблемы Чернобиля. - 2000. - Вып. 9. - С. 53 - 55.
2. Batiy V.G., Glebkin S.I., Yegorov V.V. et. al. Physical and mathematical simulation of biological shielding // Problems of atomic science and technology. Series "Nuclear physics investigations". - 2004. - No.5 (44). - P. 101 - 102.
3. Отчет по результатам исследований радиационной обстановки в зонах производства работ по стабилизации строительных конструкций ОУ. План осуществления мероприятий на объекте "Укрытие" / Международный консорциум «Чернобыль» – ИСС (МК) JV. Наряд на услуги № 4. Кн. 5. - Чернобыль, 2002.- 198 с.

Поступила в редакцию 23.03.05,
после доработки - 11.04.05.

**9 12 ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКРАНУВАННЯ ПРОТЯЖНИХ ДЖЕРЕЛ
ГАММА-ВИПРОМІНЮВАННЯ**

**О. В. Балан, В. Г. Батій, С. І. Глебкін, В. В. Єгоров, Л. І. Павловський,
С. А. Паскевич, О. А. Правдивий, В. М. Рудько, О. І. Стоянов, Д. В. Федорченко**

Запропоновано методологію оцінки доцільності екранування протяжних джерел гамма-випромінювання для покращання радіаційної обстановки при виконанні робіт у безпосередній близькості від них. Проведено аналіз ефективності екранування радіоактивно забрудненої покрівлі резервного пульта керування 4-го енергоблока ЧАЕС і показано, що для забезпечення радіаційної безпеки організація такого екранування неефективна.

9 12 EFFECTIVE ESTIMATION OF GAMMA-RAY EXTENSIVE SOURCE SHIELDING

**O. V. Balan, V. G. Batiy, S. I. Glebkin, V. V. Yegorov, L. I. Pavlovskiy, C. A. Paskevich,
O. A. Pravdiviy, V. M. Rudko, A. I. Stojanov, D. V. Fedorchenko**

Methodology of expediency estimation of gamma-ray extensive source shielding for radiation situation improvement at a works in immediate proximity to them was proposed. Analysis of shielding effectiveness of radioactive contaminated roof of Chernobyl NPP 4-th reactor reserve control room was carried out, and inexpediently shielding organization for ensuring radiation safety was demonstrated.