

ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОБЪЕКТЕ "УКРЫТИЕ"

В. Г. Батий, В. В. Егоров, Л. И. Павловский, В. М. Рудько, Д. В. Федорченко

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль

Описаны методики измерения угловых распределений интенсивности гамма-излучения установками ШД-1 и ДКС-04К. Приведены типичные результаты измерений на легкой кровле объекта "Укрытие".

Введение

Основным фактором вредного воздействия на персонал при проведении работ на объекте "Укрытие" является внешнее гамма-облучение [1 - 3]. При этом для корректного расчета индивидуальных доз и оптимизации биозащиты необходимо знать угловое распределение гамма-излучения. В настоящей работе под угловым распределением понимается зависимость интенсивности гамма-излучения в данной точке от углов, характеризующих направление расположения источников гамма-излучения. Методика оптимизации биозащиты с использованием данных по угловым распределениям интенсивности гамма-излучения описана в [4].

Ранее выполнялись отдельные работы по измерению угловых распределений [5] для изучения характеристик объекта "Укрытие". Однако системных измерений в предполагаемых зонах производства работ (ЗПР) не проводилось.

Это было связано как с отсутствием таких задач (широкомасштабные работы по преобразованию объекта "Укрытие" только начинаются), так и с отсутствием универсального оборудования, позволяющего проводить измерения в зонах с различной радиационной обстановкой.

В работе описаны методики измерения угловых распределений и приведены характерные результаты измерений угловых распределений интенсивности гамма-излучения, проведенных в ноябре 2001 - январе 2002 г. в рамках предпроектных исследований ЗПР по стабилизации.

Подробнее результаты исследований описаны в [6].

Методика измерений

Исходя из специфических условий объекта "Укрытие", должны быть использованы способы измерения угловых распределений гамма-излучения, удовлетворяющие следующим требованиям:

возможности получения данных об угловом распределении в полном телесном угле (4π);

возможности ручной доставки измерительного оборудования в различные ЗПР (кровля, каскадная стена, отдельные помещения и пр.);

минимально возможным дозозатратам персонала при проведении измерений;

достаточно широкому динамическому диапазону измерений (по оценкам, в различных ЗПР интегральная мощность экспозиционной дозы (МЭД) может изменяться от 10^{-4} до 10 Р/ч);

автономности (в предполагаемых ЗПР отсутствует электроснабжение);

работоспособности в различных погодных условиях, в том числе при низких температурах.

Способ определения углового распределения гамма-излучения, который удовлетворяет указанным выше условиям, заключается в одновременном измерении интенсивности гамма-излучения из различных направлений несколькими детекторами, разделенными поглощающей средой. При этом для получения количественных характеристик углового распределения для каждого детектора, измеряющего интенсивность излучения из определенного направления, необходимо учитывать вклад фонового излучения из других направлений при помощи результатов измерений соответствующих детекторов. Такой способ был предложен в работе [7].

На практике этот способ был реализован путем применения разработанного в ИПБ АЭС устройства ШД (шар детекторный).

Измерение угловых распределений гамма-поля с помощью устройства ШД-1. Было разработано и изготовлено устройство типа ШД-1. Оно представляет собой многодетекторное устройство (рис. 1), выполненное в виде свинцового шарообразного корпуса 1 с 32 коллимирующими отверстиями 2, равномерно расположенными по его поверхности. Угол раствора конусообразных коллимирующих отверстий составляет 45° , что обеспечивает обзор устройством всего окружающего пространства. В вершинах конусов коллимирующих отверстий имеются цилиндрические углубления, в которые устанавливаются капсулы 3 с термолюминесцентными детекторами ТЛД-500К 4.

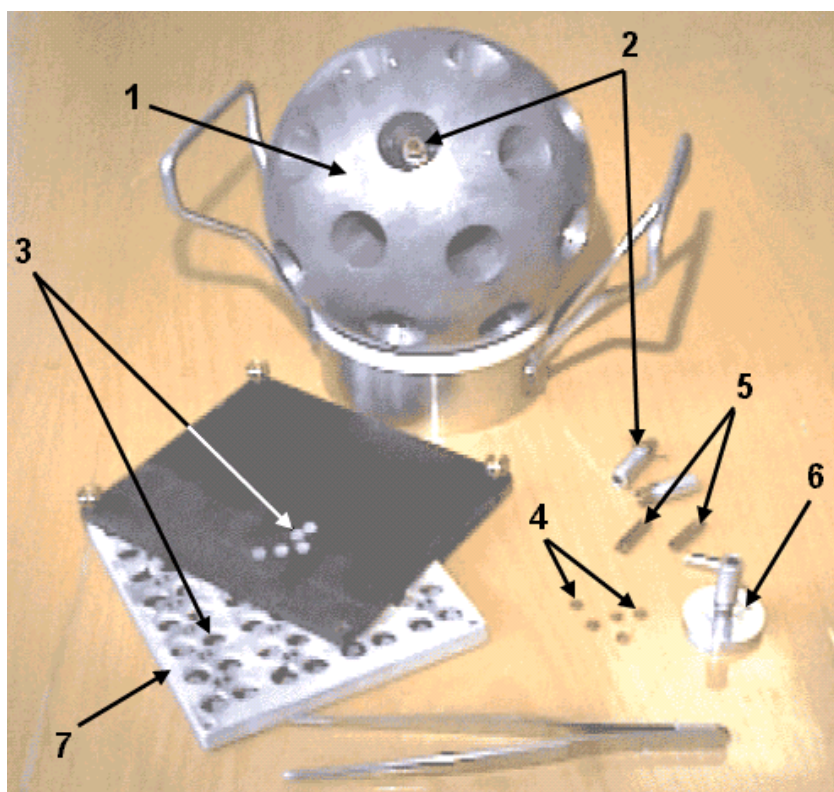


Рис. 1. Устройство ШД-1:
1 - свинцовый корпус с коллимирующими отверстиями; 2 - капсулы с детекторами;
3 - термолюминесцентные детекторы; 4 - медные фильтры;
5 - держатели; 6 - столик для установки детекторов в капсулы;
7 - пенал для транспортирования детекторов.

Для практического применения предложенного способа в условиях объекта "Укрытие" необходимо учитывать еще один важный критерий - массу устройства. Этот критерий определяет возможность ручной доставки устройства в любую точку объекта. Исходя из этих соображений, было решено использовать предельное значе-

ние массы устройства 20 кг. Учитывая предыдущий опыт оптимизации экранирования [2], было решено обеспечить условия для регистрации источников, интенсивность которых составляет не менее 10 % от интенсивности наиболее мощного гамма-источника. Из этих соображений был определен еще один критерий - толщина экранирования от соседних направлений, которая в этом случае должна составлять не менее 20 мм свинца.

В результате проведенного анализа были оптимизированы размеры устройства: масса ШД-1 - 16 кг, диаметр - 140 мм.

В точке проведения измерения ШД-1 мог размещаться различными способами: устанавливаться на подставку;

- подвешиваться к штативу;
- устанавливаться на штатив;
- устанавливаться непосредственно в транспортном контейнере;
- опускаться в проем с помощью тросов-растяжек.

Для обработки экспериментальных данных и восстановления угловых распределений были разработаны специальные вычислительные программы. Суть обработки заключалась в решении системы уравнений

$$P_i = P_{\text{exp}i} - \sum \alpha_{ij} \cdot P_j$$

где P_i – искомая МЭД, создаваемая в данной точке гамма-излучением из i -го направления ($i = 1...32$); $P_{\text{exp}i}$ – МЭД, экспериментально измеренная при помощи i -го детектора (в эту величину вносят вклад как искомое излучение из соответствующего направления, так и фоновое излучение из других направлений, которое необходимо вычесть); α_{ij} – коэффициент ослабления гамма-излучения из j -го направления при его попадании в i -й детектор. Коэффициенты вначале рассчитывали, а затем уточняли экспериментально при проведении калибровочных измерений; P_j – МЭД, создаваемая в данной точке гамма-излучением из j -го направления ($j \neq i$). Суммирование производится по всем $j = 1...n$ ($j \neq i$). Калибровка устройств ШД заключалась в уточнении коэффициентов ослабления α_{ij} .

Измерение угловых распределений с помощью гамма-коллиматора. Для проведения оперативной оценки углового распределения интенсивности гамма-излучения и выполнения детальных измерений в зонах с относительно невысоким уровнем гамма-фона (до 100 мР/ч), прежде всего в локальной зоне и на маршрутах доступа, было применено разработанное и изготовленное в МНТЦ «Укрытие» НАН Украины устройство ДКС-04К (рис. 2) на основе стандартного дозиметра ДКС-04, детектор которого помещен в специально разработанный свинцовый коллиматор толщиной 30 мм. Угол раствора коллимирующего отверстия составлял 45° , как и в устройстве ШД-1. Были изготовлены также специальные вставки в коллимирующее отверстие, позволяющие уменьшить угол раствора до 10° , а также ослаблять интенсивность гамма-излучения при помощи свинцовых фильтров толщиной от 5 до 30 мм.

ДКС-04К снабжен специальным штативом с юстировочным устройством (см. рис. 2) для проведения угловых измерений с шагом 15° . Для оперативной оценки угловых распределений ДКС-04К применялся со специальным ручным держателем. Для оценки величины фона использовался свинцовый фильтр 30 мм, устанавливаемый в коллимирующее отверстие. Для повышения точности измерения в низких полях гамма-излучения дозиметр ДКС-04 был модернизирован - добавлен режим, увеличивший время измерения от 4 до 12 с.

Были выполнены калибровочные измерения с гамма-источниками, а также произведена метрологическая аттестация прибора. Проведенные на объекте "Укрытие" измерения показали необходимость учета поглощения гамма-излучения телом самого оператора, при этом кратность ослабления составляла до двух раз и более.

Результаты измерений

На рис. 3 показаны точки измерения угловых распределений на кровле. Показаны места и порядковые номера измерений угловых распределений при помощи устройств ДКС-04К (Д) и ШД-1 (Ш). Точки измерений К обозначают измерения кратности ослабления при помощи ДКС-04К.

Угловые распределения были также измерены в пространстве за контрфорсной стеной, возле опор балки «Мамонт», вблизи оголовка южной вентиляционной шахты и в других местах.



Рис. 2. Общий вид устройства ДКС-04К (дозиметр ДКС-04 с коллиматором).

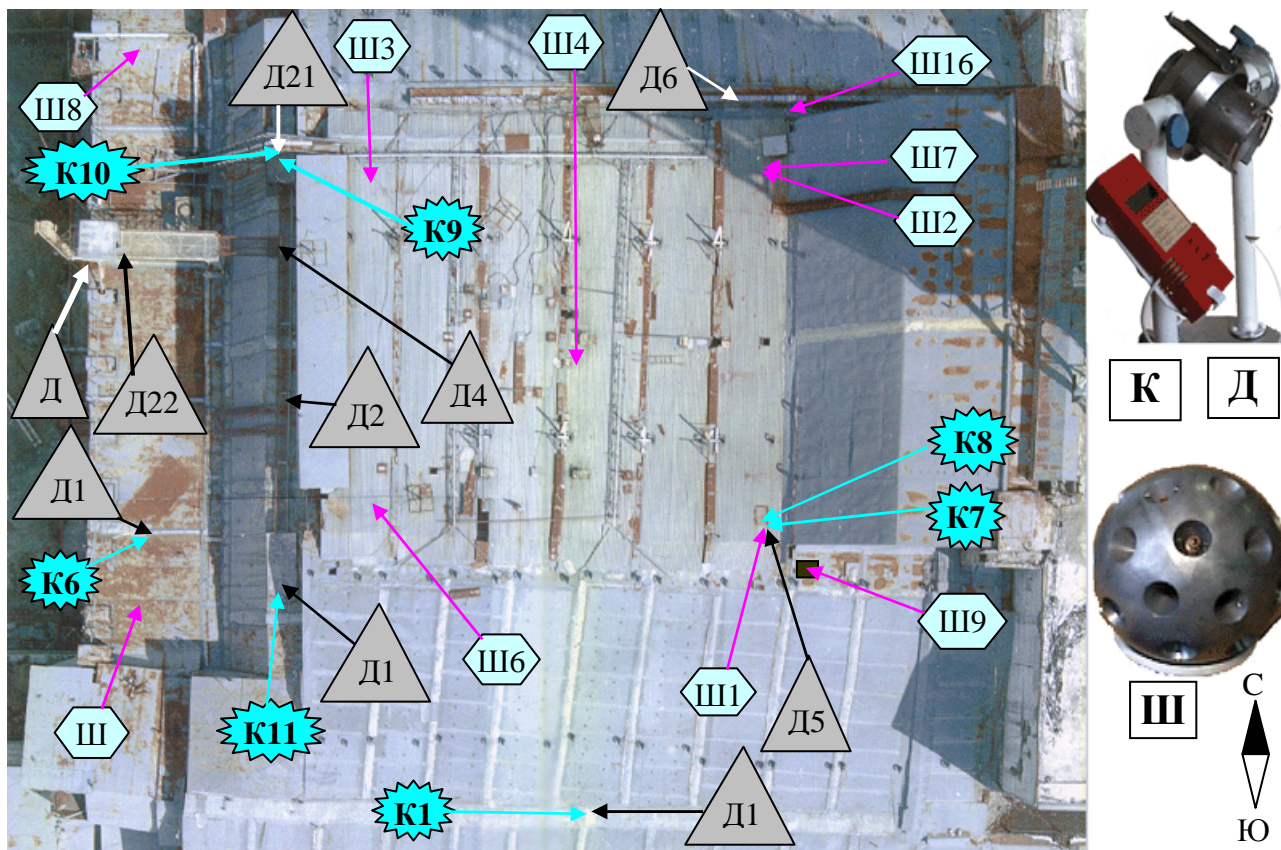


Рис. 3. Точки измерения угловых распределений на кровле объекта "Укрытие".

Проведенный анализ полученных данных показал, что с помощью разработанной комплексной методики надежно идентифицируются направления на основные источники излучения, определяющие радиационную обстановку в месте измерения.

Измерения угловых распределений гамма-излучения на покрытии (рис. 4) между контрфорсной стеной и стеной по оси 51' указывают, что в зоне опирания южного блока балок Б1/Б2 МЭД главным образом формируется с юго-западного и южного направлений, т.е. со стороны лестнично-лифтового блока (помещение 059/2), деаэрационной этажерки в районе осей 50 - 51', а также пространственного блока "кошкин дом".

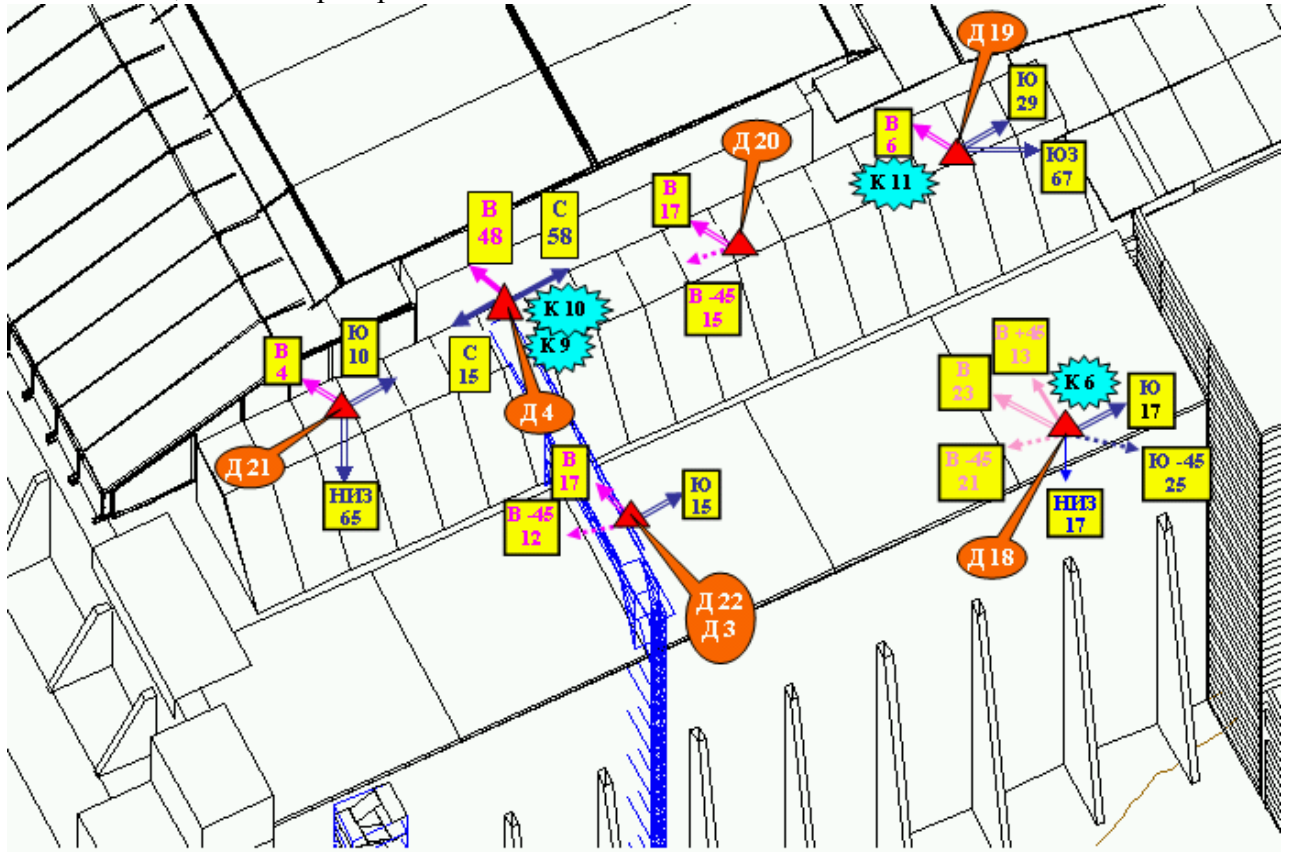


Рис. 4. Направления на основные источники излучения, создающие МЭД на покрытии между контрфорсной стеной и стеной по оси 51'.

На рис. 4 представлены результаты измерения угловых распределений гамма-излучения, полученные с помощью устройства ДКС-04К, на покрытии между контрфорсной стеной и стеной по оси 51'. Показаны направления на основные источники излучения и значения МЭД, создаваемые в данной точке излучением из соответствующего направления ($\text{мР} \cdot \text{ч}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1}$).

Результаты измерений указывают, что в этой зоне МЭД формируется, главным образом, источниками, расположенными в центральном зале (ЦЗ), особенно в районе бассейнов выдержки (направления на восток - В и на восток под углом 45° вниз - В-45), а также в с юго-западного и южного направлений, т.е. со стороны пространственного блока "кошкин дом", лестнично-лифтового блока (помещение 059/2), деаэрационной этажерки в районе осей 50 - 51' - направления Ю, Ю-45, ЮЗ (в зависимости от расположения точки измерения).

Более детальная информация об угловых распределениях в этой зоне получена при помощи устройства ШД-1.

Результаты измерений на нижних отметках возле контрфорсной стены указывают, что в этой зоне МЭД создается, главным образом, источниками, расположенными в направлении ЦЗ, а также в районе верхних отметок лестнично-лифтового блока.

Измерения между контрфорсной стеной и стеной по оси 51' на разных отметках показали, что основной вклад дает излучение из проемов в этой стене (со стороны реакторного блока).

В зоне опирания северного блока балок Б1/Б2 МЭД формируется источниками, расположенными снизу (завалы и проломы северной части крыши помещения 2001/4) и с юга.

Измерения на покрытии в точке с координатами ось 52, ряд Д+3, отметка + 51.200 показали наличие двух основных источника гамма-излучения: снизу (из помещений, прилегающих к стене по оси 51' и северной стены лестнично-лифтового блока 059/2) и с северо-востока и востока под углом 45° ниже уровня горизонта (протяженный источник, соответствующий поверхности завалов и проломов южной части крыши помещения 2001/4).

Измерения в деаэрационной этажерке (отметка +29.900, ряд В-6, оси 44 - 2 и 48 - 2) показали, что угловое распределение гамма-излучения близко к изотропному, немного больше уровень излучения со стороны машинного зала.

На легкой кровле МЭД определяется, в основном снизу - из района ЦЗ, схемы "Е", в восточной ее части заметный вклад дают источники, расположенные под «собачьим домиком».

В качестве примера идентификации возможных источников рассмотрим измерение Ш1 - юго-восточный квадрант легкой кровли объекта "Укрытие" примерно в 1 м на запад от юго-западного угла конструкции «собачий домик». МЭД в месте установки (по показаниям радиометра) около 1,8 Р/ч, расчетное интегрированное (по показаниям всех 32 ТЛД) значение 2 Р/ч. Данные хорошо согласуются, что указывает на возможность использования не только относительного углового распределения в этой точке, но и абсолютных значений в различных направлениях.

Устройство ШД-1 в измерении Ш1 было установлено над трубным накатом на поверхности легкой кровли над северной частью помещения 2014/3 севернее блока балок Б1 и Б2.

Наблюдаются (рис. 5) четыре ярко выраженных источника гамма-излучения, определяющих МЭД в точке измерения (перечень дан по уменьшению мощности источника):

направление центральной оси - $40 - 45^\circ$ западнее направления на север (от 0 до 70° от направления на север) и 60° ниже линии горизонта (от 45 до 70° от линии горизонта), что соответствует источнику в ЦЗ (помещение 914/2) над местом верха бывших южного и северного бассейнов выдержки;

15° севернее восточного направления и $15 - 40^\circ$ ниже линии горизонта, что соответствует расположению участков восточной стены ЦЗ - верхних площадок обслуживания на отметке +61.000, на которые сбрасывались фрагменты активной зоны с крыши кровли блока В при ее очистке;

то же направление в горизонтальной плоскости, но по линии горизонта и выше ее на $15 - 25^\circ$ - остатки крыши на отметке +71.500, примыкающей к блоку В, в частности северная часть крыши помещения 4004/3;

нижняя полусфера с углом развертки $15 - 20^\circ$ - излучение с поверхности завалов над помещением 2014/3, северо-восточной частью помещения 804/3 и, возможно, от западных сторон южной вентиляционной шахты.

Остальные менее значимые источники соответствуют поверхностям ЦЗ и помещению 804/3

Место измерения Ш4 - центр легкой кровли объекта "Укрытие" (на границе 3-го и 4-го щитов покрытия). Координаты места установки: ось 46+3, ряд Л, отметка +65.890. МЭД в месте установки 2 Р/ч, расчетное интегральное значение 2,7 Р/ч. ШД-1 был установлен над трубным накатом на поверхности легкой кровли в центре покрытия.

На картограмме (рис. 6) наблюдаются два источника излучения.

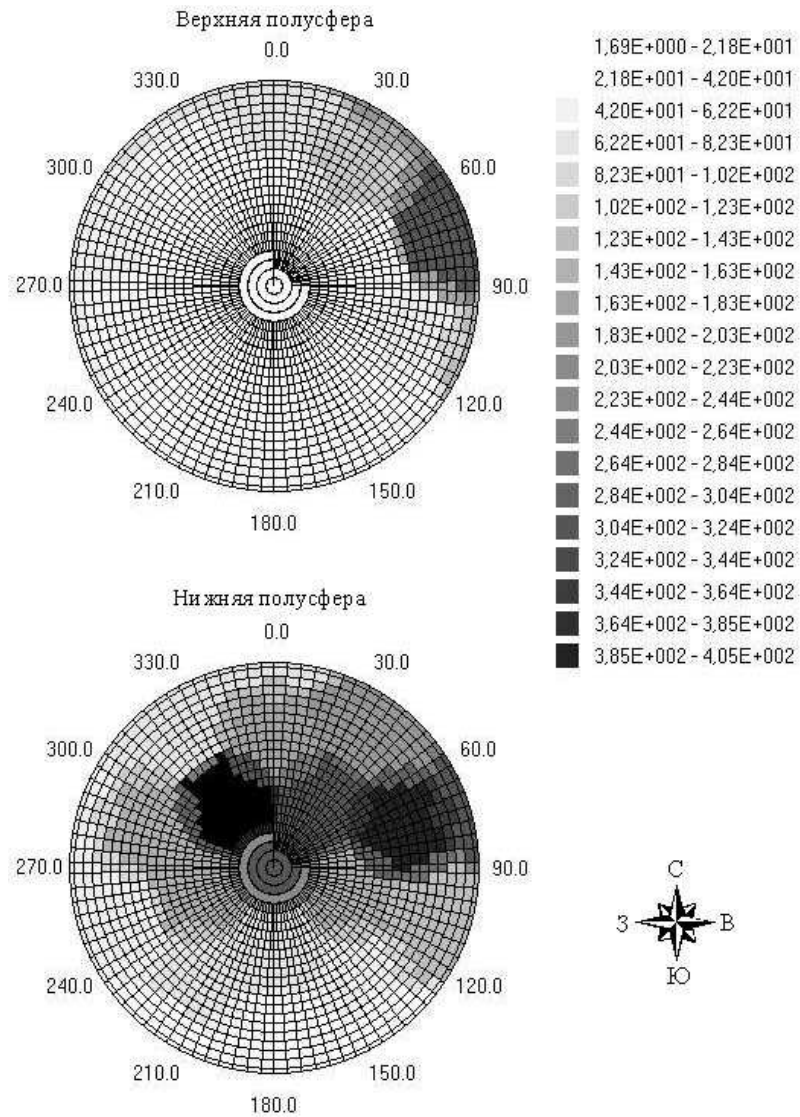


Рис. 5. Картограмма углового распределения интенсивности гамма-излучения в точке Ш1, расположенной около юго-западного угла «собачьего домика» (ось 43+1, ряд И - 3, отметка +65.860), $\text{мР} \cdot \text{ч}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1}$.

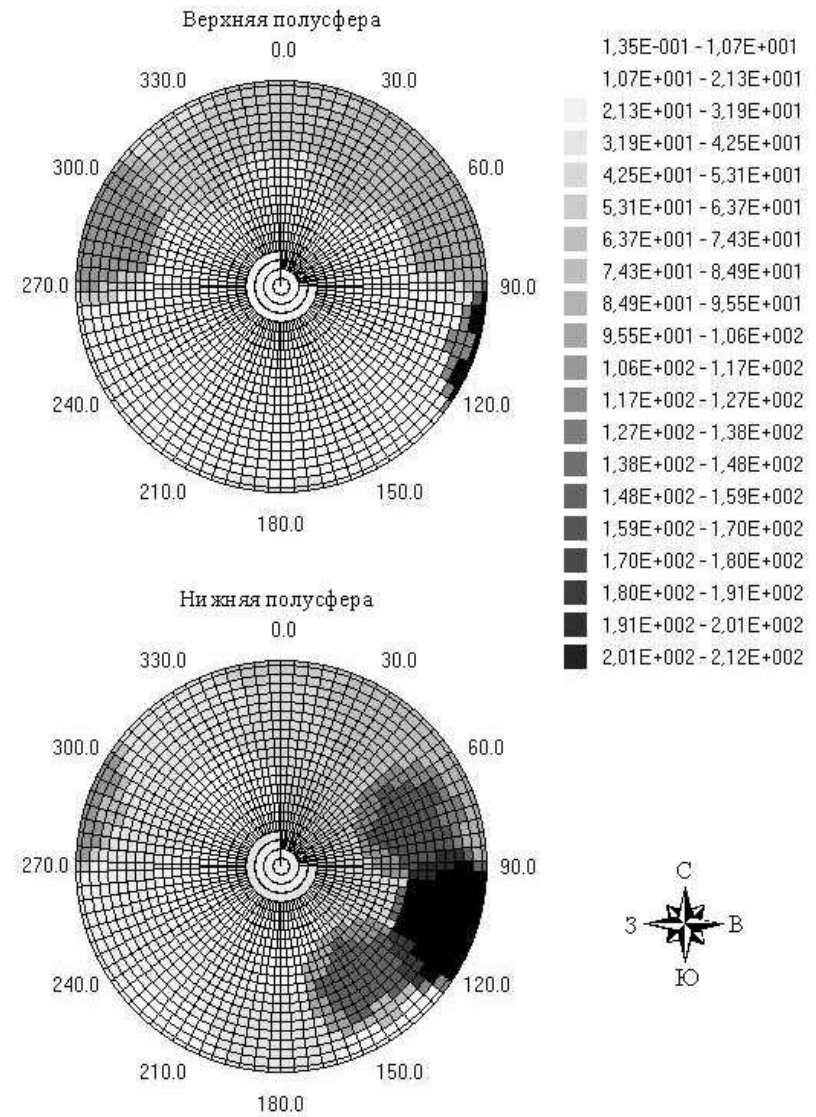


Рис. 6. Картограмма углового распределения интенсивности гамма-излучения в точке Ш11, $\text{мР} \cdot \text{ч}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1}$.

Основной источник гамма-излучения, определяющий МЭД в точке измерения, расположен на 40° в сторону юга от направления на восток под углом $25 - 40^\circ$ вниз от линии горизонта. Данный источник связан с завалами над бывшим помещением 2001/3.

Второй более слабый источник расположен между направлениями на северо-запад и запад под углом $20 - 30^\circ$ выше линии горизонта - угол восточной стены лестнично-лифтового блока помещения 059/2 и завала над южной частью помещения 2001/4.

Незначительный вклад в МЭД вносят источники с общего северного направления – завалы на плитах перекрытия помещения 2001/3.

Измерения на балке "Осьминог" напротив восточной опоры балки "Мамонт" указали на наличие основного источника гамма-излучения в направлении на запад (завалы на бывшей крыше деаэрационной этажерки и помещения 2001/3). На четвертом каскаде каскадной стены (ряд Т-2, оси 41+2 и 50+3) МЭД определяется излучением источников, расположенных в южном направлении под углом 45° выше линии горизонта в точке измерения. В этом направлении находятся завалы строительных конструкций бывшего помещения 2001/5 над помещением 915/4 и северной частью помещения 804/4

Результаты измерений на южных щитах указывают, что основные источники гамма-излучения расположены в направлении на север (район бассейнов выдержки в ЦЗ) и, в меньшей степени, на северо-восток (источники, находящиеся под конструкцией "собачий домик").

Заключение

1. Впервые проведены системные измерения в различных ЗПР на объекте "Укрытие". При проведении исследований использовалось специально разработанное оборудование. Измерения угловых распределений проводились измерительным устройством ДКС-04К и ШД-1.

2. Измерения угловых распределений позволили определить направления на источники излучения, которые при последующем анализе идентифицированы с основными местами расположения известных скоплений радиоактивных материалов, определяющих радиационную обстановку в объекте "Укрытие".

3. Проведенные исследования позволили установить направления на источники излучения, формирующие радиационную обстановку в ЗПР, и произвести оценку их вклада в МЭД в точках измерений.

4. Используемые методы измерения угловых распределений и их реализация в виде устройств типа ШД и ДКС-04К полностью решают поставленную задачу определения направления излучения интенсивных источников и оценки относительной интенсивности нескольких источников. По своим техническим возможностям ШД-1 и ДКС-04К дополняют друг друга и составляют приборный комплекс, позволяющий в сложных и разнообразных условиях объекта "Укрытие" получать достоверные данные об угловых распределениях гамма-излучения. Данные устройства могут быть широко использованы в дальнейшей практической деятельности на объекте "Укрытие" для поиска интенсивных источников, в том числе крупных фрагментов ТСМ, "прострелов" сквозь проломы бетонных строительных конструкций и другие неоднородности.

Авторы выражают благодарность А. А. Кучмагре, Г. И. Одинокину и сотрудникам отделения измерительно-диагностических систем, а также П. П. Кобе и сотрудникам опытного производства за помощь в разработке и изготовлении измерительного оборудования, И. Г. Лагутину и сотрудникам отдела безопасности, качества, метрологии и стандартизации за помощь в калибровке ШД1 и обработке результатов измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *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. - Вып. 6. - С. 25.
2. *Батий В.Г., Деренговский В.В., Кочнев Н.А. и др.* Оптимизация разовой дозы и толщины биозащиты при проведении работ на объекте "Укрытие" // Там же. - С. 44.
3. *Алешин А.М., Батий В.Г., Деренговский В.В. и др.* Анализ радиационной безопасности при проведении стабилизационных мероприятий на объекте "Укрытие" // Там же. - 2001. - Вып. 7. - С. 65.
4. *Батий В.Г., Егоров В.В., Закревский Ю.А. и др.* Оптимизация биозащиты с использованием экспериментальных данных об угловых распределениях интенсивности гамма-излучения // Там же. - 2002. - Вып. 9. - С. 53 - 55.
5. *Волков В.Г., Волкович А.Г., Ликсонов В.И. и др.* Измерения γ -поля, создаваемого объектом "Укрытие" с помощью коллимированного спектрометра // Атомная энергия. - 1991. - Т. 71, вып. 6. - С. 534.
6. *Алешин А.М., Батий В.Г., Егоров В.В. и др.* Измерение угловых распределений интенсивности гамма-излучения в зонах производства работ по стабилизации объекта "Укрытие". - Чернобыль, 2002. - 47 с. - (Препр. / НАН Украины. МНТЦ "Укрытие"; 02-1).
7. *Батий В.Г., Егоров В.В., Кочнев Н.А. и др.* Методика оценки угловых распределений мощности дозы гамма-излучения в зонах производства работ на объекте "Укрытие" // Проблемы Чернобиля. - 2002. - Вып. 9. - С. 47 - 52.

Поступила в редакцию 14.10.04,
после доработки - 16.11.04.