

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ОБЪЕКТА "УКРЫТИЕ" В ЗОНАХ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ПО СТАБИЛИЗАЦИИ

В. Г. Батий, Л. И. Павловский, В. М. Рудько

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль

Приведены результаты измерения кратности ослабления гамма-излучения от основных источников гамма-излучения в объекте "Укрытие", определяющих радиационную обстановку в зонах производства работ по стабилизации, оценена эффективная энергия. Проведены измерения и анализ гамма-спектров в локальной зоне.

Введение

Разработка мероприятий по стабилизации строительных конструкций объекта "Укрытие" стала одним из основных результатов деятельности на первом этапе выполнения международного проекта "План осуществления мероприятий на объекте "Укрытие" (ПОМ). Реализация стабилизационных мероприятий должна обеспечить существенное снижение вероятности обрушения ограждающих конструкций объекта "Укрытие" на ближайшие 10 - 15 лет, что обеспечит возможность создания нового безопасного конфайнмента.

Опыт анализа безопасности [1] и практической реализации работ по усилению опорных узлов блоков балок Б1 и Б2 [2] показал, что вопрос обеспечения радиационной безопасности является одним из ключевых для выбора оптимальных технических решений реализации проекта и мероприятий по противорадиационной защите на основе принципа ALARA.

Основным фактором вредного воздействия на персонал при проведении работ на объекте "Укрытие" является внешнее гамма-облучение [1, 2]. Вклад дозы от внутреннего облучения при ингаляционном поступлении радиоактивных веществ и от внешнего бета-облучения кожи и хрусталика глаза не превышает нескольких процентов [2].

При планировании работ на объекте «Укрытие» большое значение уделяется минимизации доз персонала, участвующего в этих работах. Особое значение это приобретает при производстве строительно-монтажных работ по стабилизации конструкций объекта «Укрытие», которые характеризуются большими коллективными эффективными дозами, затрачиваемыми при их реализации. В связи с этим уже на этапе проектирования возникает необходимость в оценке доз персонала, а также оптимизации мероприятий противорадиационной защиты и в первую очередь - биологической защиты.

Для выполнения корректных расчетов необходимо знание энергетических характеристик излучения, определяющего радиационную обстановку на рабочем месте. В настоящее время на объекте «Укрытие» таким излучением является гамма-излучение радионуклида ^{137m}Ba в результате бета-распада наиболее значимого радионуклида ^{137}Cs . Использование в расчетах граничной энергии этого гамма-излучения (661,6 кэВ) является слишком консервативным подходом, который завысит требования к организации биозащиты, что приведет к неоправданному увеличению коллективной дозы персонала. В [3] было показано, что в большинстве помещений объекта «Укрытие» средняя энергия составляет около 400 кэВ, а в одном измерении было получено даже значение 150 кэВ. Однако, как это иногда предлагается, использование "консервативной" с точки зрения расчета доз оценки 150 кэВ может привести к грубой ошибке при расчете экранирования. Измерения гамма-спектров в локальной зоне [4] указывают на наличие заметной доли рассеянного гамма-излучения, однако значительным был вклад и от прямого нерассеянного излучения с энергией 661,6 кэВ.

© В. Г. Батий, Л. И. Павловский, В. М. Рудько, 2004

В силу того, что прямые измерения гамма-спектров в высоких радиационных полях объекта "Укрытие" затруднительны, а, кроме того, аппаратные спектры зависят от конструкции конкретного детектора и могут заметно отличаться от реального, представляется целесообразным оценивать некую усредненную величину энергетического распределения, характеризующую процесс ослабления реального (немоноэнергетического) гамма-излучения материалом биозащиты. Для этого было предложено ввести и оценивать такую величину, как "эффективная энергия", под которой в данной работе понимается энергия моноэнергетического гамма-излучения, кратность ослабления которого равна кратности ослабления реального гамма-излучения с определенным спектральным распределением.

В настоящей работе описаны используемые методики, представлены характерные результаты измерений кратности ослабления мощности экспозиционной дозы (МЭД) и оценена эффективная энергия излучения в зонах производства работ (ЗПР) по стабилизации. В локальной зоне, кроме этого, были измерены и проанализированы гамма-спектры. Подробная информация о полученных результатах представлена в работе [6].

Методическое обеспечение полевых исследований

Для проведения исследований энергетических характеристик гамма-излучения было разработано три метода, два из которых основаны на оценке эффективной энергии путем измерения кратности ослабления, третий основан на прямом измерении гамма-спектров.

Установка ДКС-04К. Первый метод основан на использовании разработанного и изготовленного в МНТЦ "Укрытие" устройства ДКС-04К (рис. 1) на основе стандартного дозиметра ДКС-04, детектор которого помещен в специальный свинцовый коллиматор толщиной 30 мм.

Угол раствора коллимирующего отверстия составлял 45° , как и в устройстве ШД-1 [5], используемом для оценки угловых распределений гамма-излучения. Одинаковые характеристики коллимирующих отверстий обоих устройств упрощают и повышают точность комплексного анализа угловых и энергетических характеристик гамма-излучения в ЗПР.



Рис. 1. Общий вид устройства ДКС-04К.

Были изготовлены также специальные вставки в коллимирующее отверстие, позволяющие ослаблять интенсивность гамма-излучения при помощи свинцовых фильтров толщиной от 5 до 30 мм.

Методология проведения экспериментальных исследований заключалась в следующем. При помощи датчика, вынесенного из прибора и заключенного в свинцовую защиту, оснащенную коллимирующим отверстием, в выбранной точке исследуемой зоны определялось направление излучения с наиболее высокой МЭД. Далее производилась поочередная смена фильтров во входном окне коллиматора с фиксированием значения мощности дозы.

На основании экспериментально полученных данных по кратности ослабления определялась эффективная энергия гамма-излучения в месте измерения.

Проведенные на объекте "Укрытие" измерения показали необходимость учета поглощения гамма-излучения телом самого оператора (кратность ослабления составляла до двух раз и более).

Установка "Экран". Второй метод основан на измерении МЭД при экранировании датчика дозиметра (радиометра) поочередно или одновременно с различных сторон свинцовыми экранами различной толщины. Для этих целей была разработана и изготовлена установка "Экран" (рис. 2), конструкция которой дает возможность экранировать с различных сторон свинцовыми сменными экранами внутреннее пространство, достаточное для размещения датчика. Максимальная толщина экранирования составляла 30 мм.

В качестве радиометра использовался прибор Telescan, позволяющий оперативно измерять МЭД в широком динамическом диапазоне.

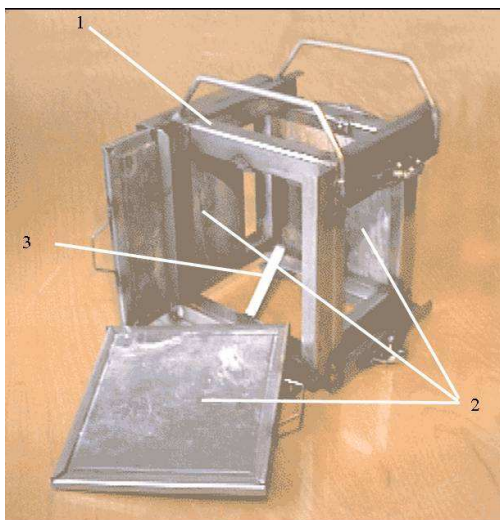


Рис. 2. Установка "Экран": 1 - корпус установки; 2 - свинцовые экраны; 3 - кронштейн для крепления БД.

Методика исследования заключалась в следующем. В выбранной точке, в которой уже было измерено угловое распределение [5], располагался каркас установки "Экран" и ориентировался относительно конструкций объекта "Укрытие". Производилось измерение МЭД без экранирования. Далее поочередно с различных сторон (в том числе сверху и снизу, при необходимости) вставлялись свинцовые экраны различной толщины. Показания величины МЭД внутри установки фиксировались. В первую очередь экранировались направления наиболее интенсивных источников излучения в соответствии с картограммой углового распределения.

Таким образом, фактически "Экран" представляет собой устройство для экспериментального моделирования биозащиты. Его можно использовать для проверки достоверности полученных данных об угловых распределениях гамма-

излучения и возможности их использования для проектирования биозащиты.

Исследования с установкой "Экран" были проведены в местах наиболее вероятного применения биозащиты - на кровле объекта "Укрытие" и в пространстве между контрфорсной стеной и стеной по оси 51'.

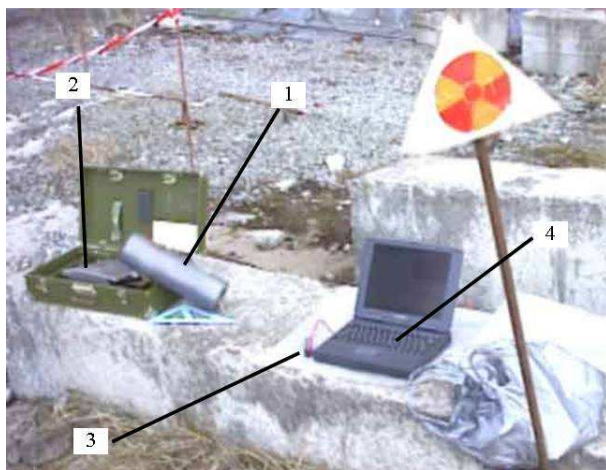


Рис. 3. Переносной гамма-спектрометр в полевых условиях: 1 - БД с коллиматором; 2 - дополнительные экранирующие листы; 3 - устройство сопряжения; 4 - компьютер с картой-спектрометром.

Гамма-спектрометр СЕГ-04. Для измерения гамма-спектров (третий метод) был применен переносной гамма-спектрометр СЕГ-04 (рис. 3) на основе сцинтилляционного блока детектирования (БД) с кристалла CsI(Tl) с размерами 30 × 30 × 30 мм, сопряженного с фотодиодом S3590 фирмы Hamamatsu

Для уменьшения гамма-фона и измерения спектра гамма-излучения в выбранном направлении был изготовлен из свинца специальный коллиматор толщиной 30 мм с углом раствора коллимирующего отверстия 10°.

Программное обеспечение спектрометра - управляющая программа SUGAN 7.72.

При помощи спектрометра можно также оперативно оценивать и среднюю кратность ослабления, регистрируя изменение загрузки спектрометра от толщины фильтра.

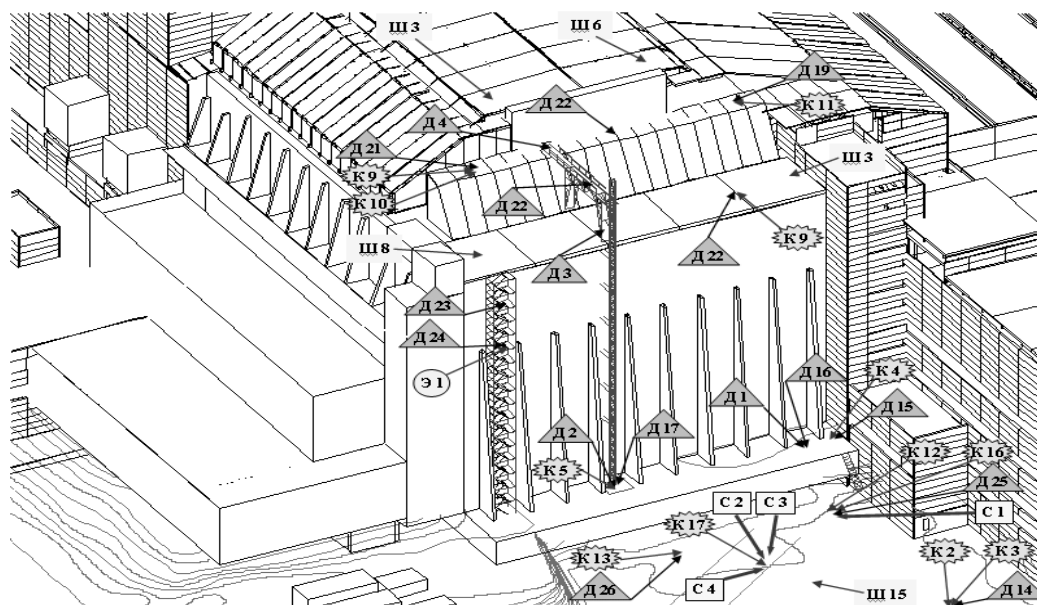


Рис. 4. Общий вид ЗПР в локальной зоне и на покрытии с указанием мест проведения измерений угловых распределений, кратностей ослабления и спектров гамма-излучения.

Результаты исследований. На рис. 4 показаны места проведения измерений кратностей ослабления и спектров гамма-излучения в локальной зоне и на покрытии. Точки измерений К обозначают измерения кратности ослабления при помощи ДКС-04К (в точках К16 и К17 измерения кратности ослабления были проведены при помощи коллимированного спектрометра), Э - с установкой "Экран", С - место измерения спектров. Кроме того, показаны места измерений угловых распределений при помощи установки ДКС-04К (Д) и ШД1 (Ш). Измерения кратностей ослабления производились и в других ЗПР - в пространстве за контрфорсной стеной, в деаэрационной этажерке (помещение Г635/3), вблизи восточной и западной опор балки Мамонт".

Измерения кратностей ослабления гамма-излучения проводились по направлениям наиболее интенсивных источников излучения в соответствии с данными угловых распределений. Направления измерения кратностей ослабления были следующими: восток (В) - точки К2, К9, К16, К17; юго-восток и под углом 45° вверх (ЮВ+45) - точки К3, К5, В+45 (К4), Ю-45 (К6), вниз - К10, Ю3-45 (К11), В+30 (К12, К13).

По измеренным кратностям ослабления были оценены соответствующие эффективные энергии гамма-излучения.

Показано, что с увеличением толщины фильтра эффективная энергия возрастает. Это связано с тем, что размещение на пути гамма-лучей даже достаточно тонкого (несколько миллиметров) слоя свинца приводит к существенному ослаблению рассеянного излучения (мягкой части спектра), а жесткая часть (662 кэВ и более) ослабляется значительно меньше. Так, если эффективная энергия при прохождении первого слоя свинца толщиной 5 мм составляла, в большинстве, 360 - 400 кэВ, то после прохождения второго такого же слоя она уже достигала 500 - 700 кэВ. Погрешность оценки достаточно велика, особенно для небольших кратностей ослабления. В большинстве измерений эффективная энергия при прохождении слоя от 10 до 20 мм составила более 600 кэВ.

Средние значения эффективной энергии по ЗПР по мероприятию № 2 (стабилизация западного фрагмента) приведены на рис. 5 (сплошная кривая). Измерения проведены с помощью устройства ДКС-04К. Из рисунка видно, что, несмотря на существенное различие приборов, геометрии облучения и методики обработки, полученные значения удовлетворительно согласуются с данными, полученными с помощью экранирования детектора гамма-спектрометра (треугольные точки).

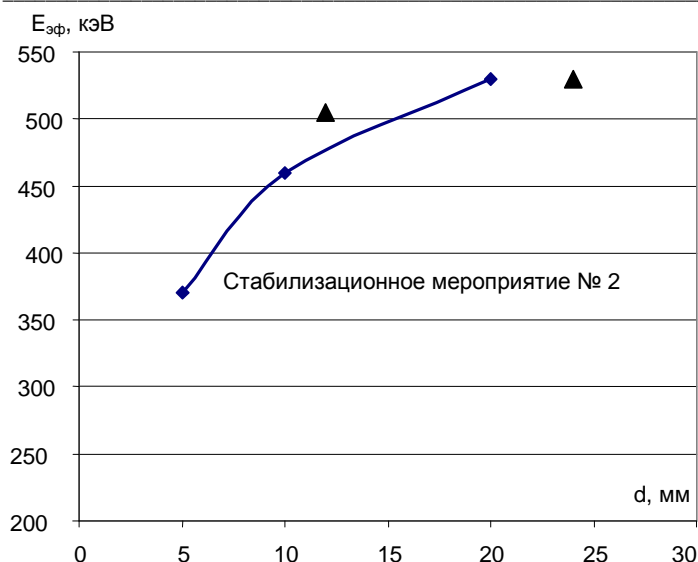


Рис. 5. Зависимость эффективной энергии гамма-излучения $E_{эф}$ от толщины фильтра d . Кривая - усредненные значения для ЗПР по мероприятию № 2 (измерения ДКС-04К), треугольные точки - измерения кратности коллимированным детектором гамма-спектрометра.

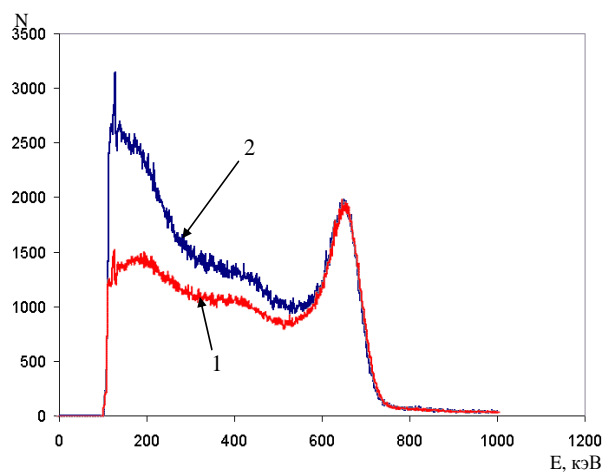


Рис. 6. Энергетический спектр гамма-излучения в локальной зоне (1) (измерение С2) в сравнении с калибровочным спектром (2).

ством результатов работы [3]. Форма спектра похожа на спектр, полученный в аналогичных условиях в работе [4].

Близкие значения были получены и в других ЗПР, что связано с отсутствием в них открытых источников излучения.

Для оценки эффективной энергии гамма-излучения и соответствующей ей кратности ослабления, которую необходимо принимать при проектировании биозащиты, были проведены измерения гамма-спектров вблизи объекта "Укрытие" (в локальной зоне) и на некотором расстоянии от него возле контрольно-пропускного пункта - КПП-4. Знание энергетического распределения необходимо также для более корректного расчета эффективных доз внешнего облучения персонала в ЗПР и на путях доступа.

На рис. 6 приведен гамма-спектр, полученный при помощи спектрометра с коллимированным БД вблизи контрфорсной стены (измерение С2, см. рис. 4). Измерения проводились в направлении максимальной интенсивности гамма-излучения. При сравнении полученного спектра (1) с калибровочным (2) видно, что спектр из объекта "Укрытие" заметно более мягкий, что объясняется вкладом гамма-квантов, комптоновски рассеянных на элементах строительных конструкций и, в некоторой степени, в воздухе. Вклад гамма-излучения с энергией более 662 кэВ (^{137}Cs) заметен, но незначителен.

Эти результаты хорошо согласуются с данными по оценке эффективной энергии гамма-излучения, которая в большинстве измерений составляет (для небольших толщин фильтров) 350 - 400 кэВ, с большин-

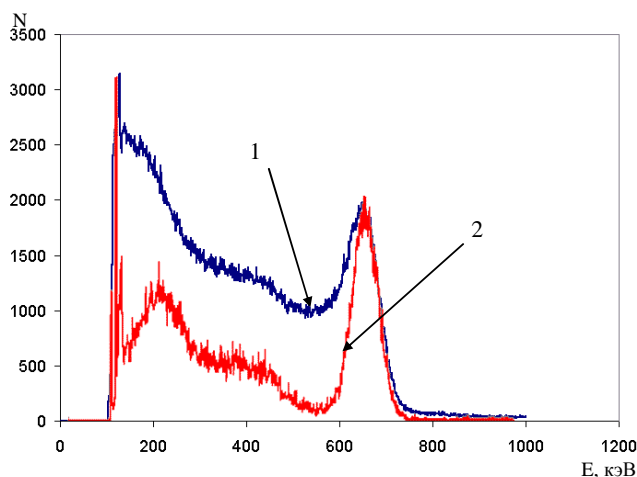


Рис. 7. Энергетический спектр гамма-излучения из объекта "Укрытие" после прохождения через 30-миллиметровый слой свинцового фильтра (1) (измерение С4) в сравнении со спектром без фильтра (2) (измерение С3).

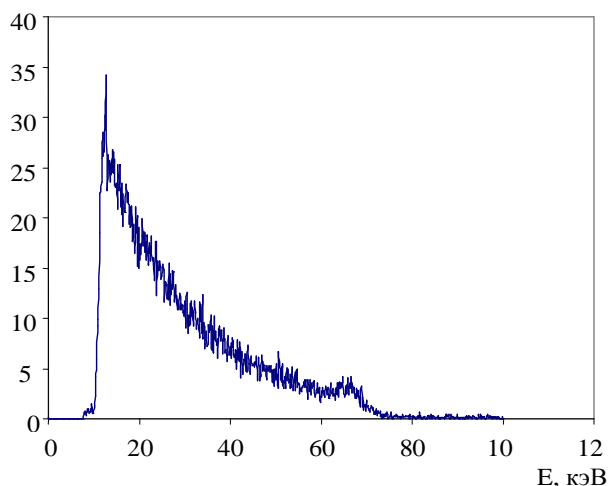


Рис. 8. Энергетический спектр гамма-излучения от объекта "Укрытие" (измерение С5). Точка измерения расположена вблизи КПП-4.

На рис. 7 приведен гамма-спектр от объекта "Укрытие" после прохождения слоя свинца толщиной 30 мм. Спектр заметно более "жесткий" вследствие того, что при прохождении слоя свинца рассеянное (мягкое) гамма-излучение ослабляется существенно больше, чем жесткое (с энергией 662 кэВ и больше).

Эти результаты также хорошо согласуются с данными по оценке эффективной энергии гамма-излучения. В большинстве измерений эффективная энергия гамма-излучения после прохождения слоя свинца 5 - 10 мм составляла 550 - 600 кэВ и более.

Эффект "ужесточения" гамма-излучения хорошо согласуется с результатами проведенного ранее [7] математического моделирования методом Монте-Карло.

По мере удаления от объекта "Укрытие" гамма-спектр существенно смягчается за счет рассеяния в воздухе и увеличения вклада гамма-излучения, многократно рассеянного на строительных конструкциях. Это хорошо видно из спектра гамма-излучения объекта (рис. 8), измеренного вблизи КПП-4.

Заключение

В настоящей работе показано, что комплекс разработанных в МНТЦ "Укрытие" методик позволил оценить энергетические характеристики гамма-излучения в зонах предполагаемого производства работ по стабилизации строительных конструкций. При этом

впервые были проведены системные исследования на различных участках вне и внутри объекта "Укрытие".

Результаты измерений при помощи спектрометра СЭГ-04 указывают на то, что для проведения спектрометрических исследований в более высоких радиационных полях необходимо увеличить толщину коллиматора. Для выбора оптимальной формы коллиматора целесообразно провести математическое моделирование процесса измерения с использованием данных по угловому распределению интенсивности гамма-излучения. При этом в направлении максимальной интенсивности излучения целесообразно использовать большую толщину экранирующего материала.

Измерения кратности ослабления гамма-излучения при помощи установок ДКС-04К и "Экран" и исследования спектров гамма-излучения показали, что эффективная энергия гамма-излучения от объекта "Укрытие" составляет 350 - 400 кэВ в зонах предполагаемого проведения работ по стабилизации. Применение экранирования делает спектр гамма-

излучения, прошедшего через экран, более жестким (эффективная энергия 550 - 600 кэВ). Полученные результаты по кратности ослабления и значениям эффективной энергии для различных ЗПР близки.

Это можно объяснить тем, что основным гамма-излучателем радиоактивных отходов объекта "Укрытие" является ^{137m}Ba , образуемый при бета-распаде ^{137}Cs . Гамма-излучение этого радионуклида, проходя через строительные конструкции и материалы завалов, ослабляется и преобразуется в спектр с максимальной энергией, равной начальной энергии (661,6 кэВ). Так как толщины поглощающих материалов достаточно большие, это в основном будет сказываться на интенсивности излучения. Форма спектрального распределения существенно зависит от толщины поглотителя только для небольших толщин. Это подтверждается результатами спектрометрических измерений и математическим моделированием процесса прохождения гамма-излучения через материалы биозащиты. При удалении от объекта "Укрытие" спектр смягчается за счет многократного рассеяния гамма-излучения в воздухе. Для оценки реального энергетического распределения необходимо разработать методику восстановления гамма-спектра или математически моделировать аппаратный спектр реального детектора при различных гипотезах о форме исходного спектра.

Проведенные исследования показали возможность использования созданных методик для измерения кратности ослабления и оценки эффективной энергии гамма-излучения, измерения гамма-спектров и оптимизации биозащиты в реальных условиях объекта "Укрытие". Разработанные устройства могут быть широко использованы в дальнейшей практической деятельности на объекте для усовершенствования системы противорадиационной защиты.

Авторы выражают благодарность А. А. Кучмагре, Г. И. Одинокину, П. П. Кобе и другим сотрудникам отделения измерительно-диагностических систем и опытного производства за помощь в разработке и изготовлении измерительного оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ключников А.А., Щербин В.Н., Рудько В.М. и др.* Опыт работы МНТЦ "Укрытие" по пакету А в рамках плана осуществления мероприятий (SIP) // Проблемы Чернобиля. - 2002. - Вип. 9. - С. 118 - 123.
2. *Алешин А.М., Батий В.Г., Глухенький В.Н. и др.* Анализ безопасности реализации проекта стабилизации опорных узлов блоков балок Б1 и Б2 // Там же. - 2000. - Вип. 6. - С. 25.
3. *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, вип. 4. - С. 283.
4. *Волков В.Г., Волкович А.Г., Ликсонов В.И. и др.* Измерения γ -поля, создаваемого объектом "Укрытие" с помощью коллимированного спектрометра // Там же. - 1991. - Т. 71, вип. 6. - С. 534.
5. *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. - Вип. 9. - С. 47 - 52.
6. *Августов В.В., Батий В. Г., Егоров В. В. и др.* Эффективная энергия и спектр гамма-излучения скоплений радиоактивных отходов объекта "Укрытие". - Чернобыль, 2002. - 38 с. - (Препр. / НАН Украины. МНТЦ "Укрытие; 02-3).
7. *Батий В.Г., Кочнев Н.А., Кузьменко В.А., Рудько В.М.* Математическое моделирование в задачах по ликвидации последствий чернобыльской аварии // Проблемы Чернобиля. -2002. - Вип. 10, ч. 1. - С. 59 - 72.

Поступила в редакцию 14.10.04,
после доработки - 10.11.04.