ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, 2013 №1(6), С.18–22

ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 621.039.74

КОЭФФИЦИЕНТ ОСЛАБЛЕНИЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО КОНТЕЙНЕРА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ХРАНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ[1]

© 2013 г. А.В. Ившин, И.И. Лощаков

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет», Санкт-Петербург

Поступила в редакцию 20.02.2013 г.

Смоделировано ослабление гамма-квантов защитным железобетонным контейнером. Рассчитаны коэффициенты ослабления эквивалентной дозы, которые можно использовать для обоснования защитных свойств контейнера.

Ключевые слова: железобетонный контейнер, коэффициент ослабления эквивалентной дозы, хранение радиоактивных отходов.

Радиоактивные отходы (РАО), образующиеся на атомных электрических станциях, требуют особого обращения. Для транспортировки и временного хранения их помещают в специальные контейнеры, которые должны обеспечить необходимую биологическую защиту.

При загрузке контейнера радиоактивным материалом требуется определить мощность эквивалентной дозы на поверхности упаковки, которая не должна превышать нормируемые значения.

Инженерный расчет биологической защиты позволяет быстро определить необходимую толщину защиты и количество загружаемых РАО. Такой метод основан на использовании интегральных характеристик (кратность ослабления, факторы накопления), которые получены для точечных изотропных источников [1] и имеют практическое применение при обосновании радиационной безопасности.

В данной работе рассчитаны подобные характеристики для протяженного изотропного источника с учетом рассеянного излучения, геометрии и материалов контейнера. В диапазоне энергий от 0,1 до 1,9 МэВ определены коэффициенты ослабления гамма-излучения на поверхности контейнера и на расстоянии 1 м. Используя коэффициенты ослабления, рассчитаны предельно допустимые мощности эквивалентной дозы исходного излучения.

Постановка задачи. Для расчета коэффициента ослабления необходимо знать плотность потока гамма-квантов. С помощью программы MCC 3D [2] смоделировано взаимодействие гамма-излучения (фотоэффект, комптоновское рассеяние, образование электрон-позитронных пар) со стенкой контейнера и определена плотность потока.

Создана объемная модель контейнера, выполненного из бетона плотностью 2,34 г/см^3 в форме параллелепипеда: внешний габарит 1200x1200x1430 мм, внутренние размеры 960x960x1150 мм, толщина нижней стенки 120 мм, боковой стенки 120 мм, крышки 160 мм. Рассмотрен предельный случай, когда загрязненный слой располагается вдоль одной внутренней стенки. Источник гамма-излучения имеет изотропное угловое распределение. Поток гамма-квантов регистрируется 18

[1] *Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение № 14.B37.21.0317. (Сноска на название статьи)*

©Издательство Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», 2013

детекторами, расположенными на поверхности контейнера и на расстоянии 1 м (рис. 1).

Коэффициент ослабления гамма-излучения $K_{осл.}$ – отношение эквивалентных доз исходного (H_0) и ослабленного излучений (H_d):

$$K_{осл.} = \frac{H_0}{H_d},$$

В таблице 1 представлены значения коэффициента ослабления, а на рисунке 2 – его изменение в зависимости от исходной энергии гамма-излучения. Данные приводятся для двух точек (на поверхности контейнера и на расстоянии 1 м), расположенных на высоте H=715 мм.

Расчет показал, что относительная погрешность коэффициента ослабления уменьшается при увеличении количества зарегистрированных гамма-квантов. С увеличением энергии исходного излучения коэффициент ослабления уменьшается (рис. 2).

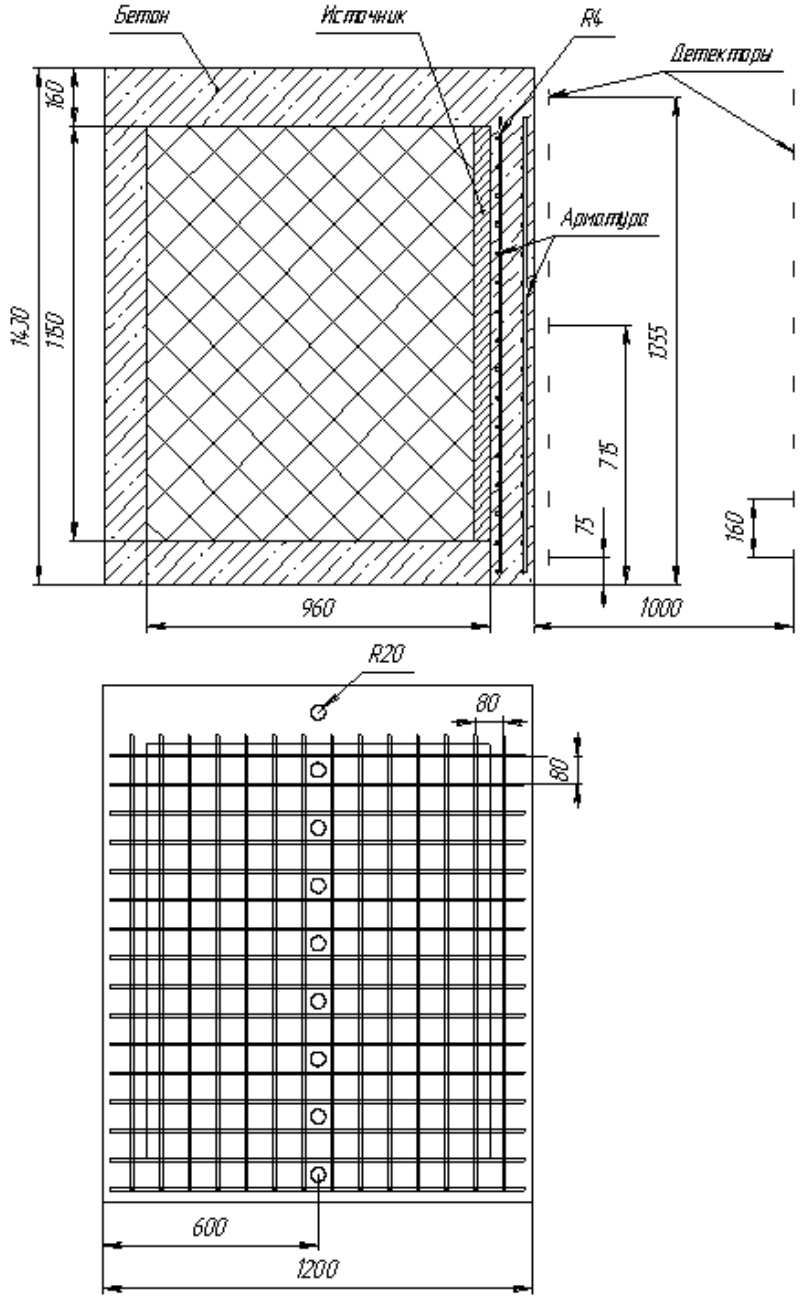


Рис. 1. Проекции контейнера (главный вид, вид справа)

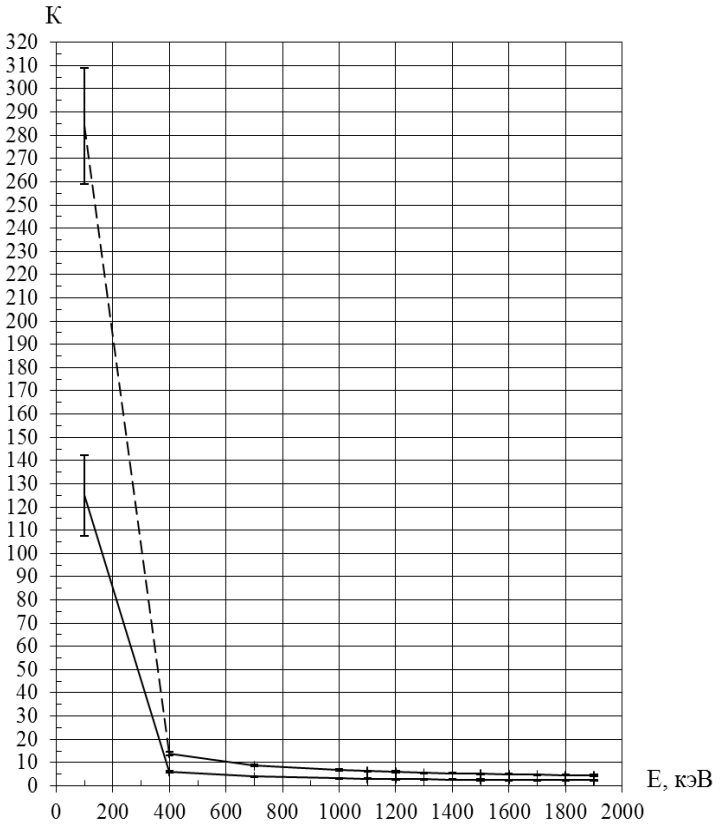


Рис. 2. Зависимость коэффициента ослабления от исходной энергии гамма-излучения (- - - – на поверхности контейнера, —— – на расстоянии 1 м)

Таблица 1. Коэффициент ослабления гамма-квантов

E_γ, кэВ	$K_{осл.}$	
	на поверхности	на расстоянии 1 м
100	284±25	125±17
400	13,9±0,6	6,1±0,5
700	8,6±0,4	3,9±0,3
1000	6,8±0,3	3,2±0,3
1100	6,3±0,3	3,0±0,3
1200	5,9±0,3	2,8±0,3
1300	5,5±0,3	2,7±0,2
1400	5,3±0,3	2,7±0,2
1500	5,1±0,3	2,5±0,2
1600	4,9±0,2	2,4±0,2
1700	4,8±0,2	2,4±0,2
1800	4,6±0,2	2,3±0,2
1900	4,5±0,2	2,3±0,2

Согласно нормам радиационной безопасности, регламентируются предельно допустимые уровни мощности эквивалентной дозы ($H_{НРБ}$) на поверхности упаковки и на расстоянии 1 м. С помощью коэффициентов ослабления рассчитаны значения мощности эквивалентной дозы ($H_{доп.}$) исходного излучения, которые после ослабления

защитой будут удовлетворять требуемым уровням (см. табл. 2):

$$H_{доп.} = K_{осл.} \cdot H_{НРБ},$$

где $K_{осл.}$ – коэффициент ослабления;

$H_{НРБ}$ – мощность эквивалентной дозы, соответствующая нормам радиационной безопасности (на поверхности контейнера не более 2,0 мЗв/ч, на расстоянии 1 м от поверхности – 0,1 мЗв/ч).

Таблица 2. Предельно допустимая мощность эквивалентной дозы неослабленного моноэнергетического гамма-излучения

E_γ, кэВ	$H_{доп.}$, мЗв/ч	
	на поверхности	на расстоянии 1 м
100	568±50	12,5±1,7
400	27,7±1,3	0,61±0,05
700	17,2±0,8	0,39±0,03
1000	13,6±0,7	0,32±0,03
1100	12,6±0,6	0,3±0,03
1200	11,9±0,6	0,28±0,03
1300	11,1±0,6	0,27±0,02
1400	10,7±0,5	0,27±0,02
1500	10,2±0,5	0,25±0,02
1600	9,8±0,5	0,24±0,02
1700	9,5±0,5	0,24±0,02
1800	9,1±0,5	0,23±0,02
1900	8,9±0,5	0,23±0,02

Источником радиоактивного загрязнения обычно является смесь радиоактивных нуклидов, испускающих гамма-кванты определенных энергий. Таким образом, предельно допустимая мощность эквивалентной дозы исходного гамма-излучения будет определяться суммарным вкладом каждого нуклида:

$$H_{доп.} = \sum_{(i)} H_{доп.}$$

Заключение. В ходе исследования железобетонного контейнера, предназначенного для транспортировки и временного хранения радиоактивных отходов, смоделировано ослабление гамма-излучения для различных энергий гамма-квантов, получены численные значения параметров, определяющих радиационную характеристику контейнера, с оценкой погрешности вычисления.

С увеличением энергии гамма-излучения коэффициент ослабления уменьшается: на поверхности контейнера от 284 до 4,5, на расстоянии 1 м от 130 до 2,3 (рис. 2). Относительная погрешность коэффициента ослабления определяется набранной статистикой в детекторе. Чтобы уменьшить погрешность получаемых результатов, необходимо увеличить количество моделируемых событий в несколько раз, что прямо пропорционально увеличению времени расчета. По сравнению с результатами работы [3] увеличение количества моделируемых событий с $3 \cdot 10^6$ до 10^9 позволило уменьшить относительную погрешность на 2–5 %. Таким образом, необходимо находить компромисс между временем расчета и погрешностью желаемых результатов. В

дальнейшем планируется уменьшить геометрическую модель, рассмотрев симметричную область, что позволит уменьшить в несколько раз время моделирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Машкович, В.П.и др.* Защита от ионизирующих излучений: Справочник – 4-е изд. [Текст] / В.П. Машкович, А.В. Кудрявцева. – М. : Энергоатомиздат, 1995. – 496 с.
2. *Багаев, К.А. и др.* Программа для имитационного трёхмерного моделирования систем детектирования и регистрации ионизирующего излучения на базе развитого графического интерфейса [Текст] / К.А. Багаев, С.С. Козловский, И.Э. Новиков // АНРИ. – 2007. – №4 – С. 35–40.
3. *Лощаков, И.И.и др.* Расчет ослабления гамма-излучения защитным железобетонным контейнером [Текст] / И.И. Лощаков, Г.Г. Куликова, В.И. Лебедев, А.В. Ившин // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2010. – №1(95) – С. 211–215.

The reduction coefficient of gamma radiation for the ferro-concrete container designed for radioactive waste storage

A.V. Ivshin*, I.I. Loschakov**

St.-Petersburg State Politechnical University,29 Polytechnicheskaya St., St.Petersburg, Russia 195251
**e-mail: ivshinav@spbstu.ru ; ivshinav@yandex.ru **e-mail: aiteu@spbstu.ru*

Abstract – The reduction of gamma radiation with the help of protective ferro-concrete container was simulated. The reduction coefficients of equivalent dose were calculated. These coefficients can be used to substantiate the radiation safety of container.

*Keywords:*ferro-concrete container, reduction coefficient of equivalent dose, radioactive waste storage.