

ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОЙ АКТИВНОСТИ УПАКОВОК С ВЫСОКОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ

В. Г. Батий, В. В. Егоров, О. А. Кафтанатина, А. И. Стоянов

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль

Е. В. Рудычев, В. В. Селюкова, М. А. Хажмурадов

Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», Харьков

Проведены расчеты радиационных характеристик различных упаковок с высокоактивными отходами (ВАО) при их извлечении из объекта "Укрытие". На основании проведенных расчетов определены граничные условия использования упаковок для безопасного транспортирования и хранения ВАО на ЧАЭС.

Введение

В настоящей работе рассмотрена возможность создания упаковочных комплектов на базе существующего транспортно-защитного контейнера для ВАО КТЗВ-0,2 для транспортирования и хранения ВАО на ЧАЭС.

Применение упаковочных комплектов параметрического ряда двойного назначения позволит минимизировать технологические операции с ВАО и снизить дозовые нагрузки на персонал путем: проведения оптимизации процедур загрузки; использования дистанционно управляемых механизмов; применения дополнительной радиационной защиты и др.

В работе были рассчитаны МЭД на поверхности упаковки и на различном расстоянии. Данные использованы для выработки технических требований к системам контроля и определения граничных условий использования КТЗВ-0,2 для создания параметрического ряда упаковок.

Виды и характеристики ВАО

Для проведения расчетов рассмотрены ВАО, имеющие следующие свойства:

отходы являются гомогенными или гетерогенными;

отходы содержат гамма-излучающие радионуклиды (^{137}Cs и ^{60}Co), которые дают основной вклад в мощность дозы гамма-излучения.

Материалы содержащие ВАО, которые подлежат транспортировке и/или хранению в упаковочных комплектах: песок, бетон, металл, фрагменты ТВС, фрагменты твэла, фрагменты конструктивных элементов активной зоны реактора и их возможные комбинации и смеси.

Максимальный объем и масса ВАО, которые можно разместить в составе внутреннего компонента упаковочного комплекта, должны быть определены расчетным путем с учетом радионуклидного состава, уровня активности, вида отходов и принятой мощности эквивалентной дозы излучения от КТЗВ-0,2. В соответствии с «Правилами безопасной перевозки радиоактивных материалов» максимальное значение МЭД в любой точке внешней поверхности упаковочного комплекта (на расстоянии 10 см) не должно превышать 2 мЗв/ч, а на расстоянии 200 см – 0,1 мЗв/ч.

Разработка математических моделей источников излучение

Для решения всех задач оптимизации (при транспортировании, хранении и пр.) и учета всех указанных выше требований, разработан методический подход, который предполагает проведение серии стандартных расчетов с определенной активностью независимо для двух изотопов (^{137}Cs и ^{60}Co). В этом случае появляется возможность использовать полученные данные для оценки МЭД в случае любого радионуклидного состава, учитывая то, что МЭД зависит от активности линейно.

В качестве источников излучения предлагаются:

1) гомогенная среда – песок SiO_2 , плотность $1,6 \text{ г/см}^3$, с равномерно распределенной по объему активностью 10^8 Бк (^{137}Cs или ^{60}Co);

2) гетерогенная среда – кусок твэла диаметром $11,5 \text{ мм}$ и длиной, равной длине упаковки, материал – UO_2 (источник – ^{137}Cs) или железо (источник – ^{60}Co), в центре упаковки, вдоль оси, без песка, активность 10^8 Бк ;

3) гетерогенная среда – кусок твэла диаметром $11,5 \text{ мм}$ и длиной, равной длине упаковки, материал – UO_2 (источник – ^{137}Cs) или железо (источник – ^{60}Co), в центре упаковки, вдоль оси, в песке, активность 10^8 Бк .

Источники 2) и 3) отличаются наличием или отсутствием песка в упаковке.

Наличие источников 1) и 3) позволяет использовать результаты расчетов для вычисления МЭД в более сложных случаях: наличие фрагмента твэла в загрязненном грунте с различной удельной активностью.

МЭД линейно зависит от удельной активности, поэтому реальную величину дозы вычисляем исходя из расчетных или экспериментальных значений удельной активности.

Разработка математических моделей упаковок

Параметрический ряд упаковочных комплектов должен быть спроектирован на базе КТЗВ-0,2 с учетом его массы, объема и формы. Стандартный КТЗВ-0,2 имеет первичный контейнер (ПК) КТ-0,2а (бочка 200 л). Для транспортирования и хранения ВАО, для которых КТЗВ-0,2 не обеспечивает требуемого уровня радиационной безопасности, необходимо в КТ-0,2а поместить ПК меньшего объема и дополнительную защитную оболочку.

Исходя из указанных требований, предлагается проведение расчетов для упаковочных комплектов, состоящих из защитного контейнера (КТЗВ-0,2) и помещенного в него ПК объемом 200 л (У1). Внутри ПК объемом 200 л помещается дополнительный ПК объемом 100 (У2а) или 40 л (У3а). Вокруг 100- и 40-литровых дополнительных ПК размещаются "вставки" – дополнительный защитный слой из свинца. Максимальная толщина защитного слоя определяется массой комплекта внутренних компонентов – не более 750 кг.

При этом можно исходить из двух подходов:

а) исходя из средней плотности РАО (для 200 л ПК $\rho = (450 - 30)/2 = 2,1 \text{ г/см}^3$);

б) из максимальной массы ПК 450 кг (для 100 л упаковки) и 400 кг (для 40 л).

В зависимости от вида ВАО, помещаемого в упаковочный комплект, он может состоять из (рис. 1):

защитно-транспортного контейнера КТЗВ-0,2 и 200 л ПК с ВАО;

защитно-транспортного контейнера КТЗВ-0,2 и 200 л ПК с помещенным внутри него дополнительным ПК 100- или 40-литрового объема с ВАО, окруженными дополнительной свинцовой защитой (дополнительный защитный контейнер).

Для проведения математического моделирования использовались хорошо известные верифицированные программы Microshield ver.5/05 (аналитический метод) и MCNPX (метод Монте-Карло).

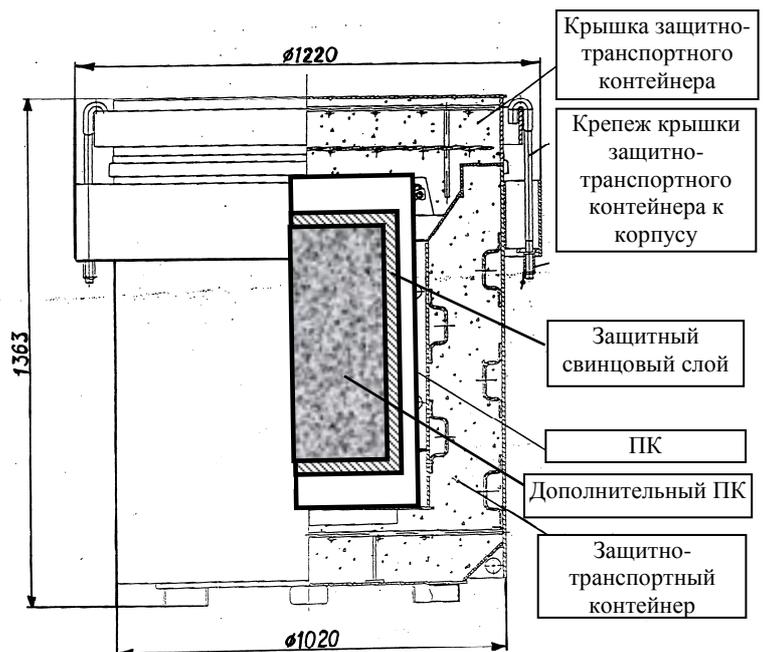


Рис. 1 Упаковочный комплект

Результаты расчетов и их анализ

Предварительные расчеты показали, что наиболее критическими точками являются середины боковой поверхности. Рассчитаны модели упаковочных комплектов и приведены расчеты в "критических" точках вокруг упаковки.

Спектры гамма-излучения с боковых поверхностей упаковок приведены на рис. 2 – 9.

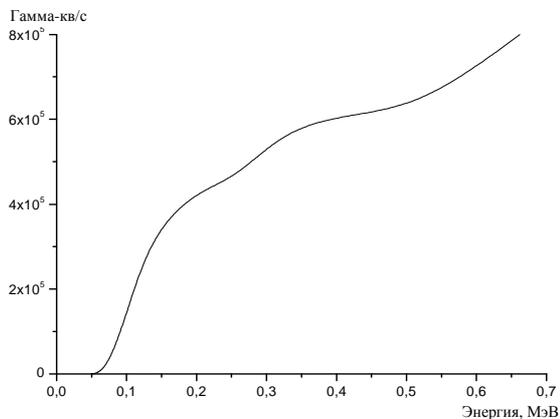


Рис. 2. Спектр гамма-излучения с боковой поверхности упаковочного комплекта У1 для гомогенной среды (^{137}Cs).

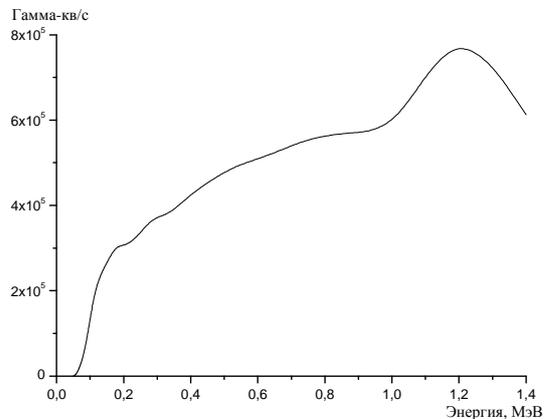


Рис. 3. Спектр гамма-излучения с боковой поверхности упаковочного комплекта У1 для гомогенной среды (^{60}Co).

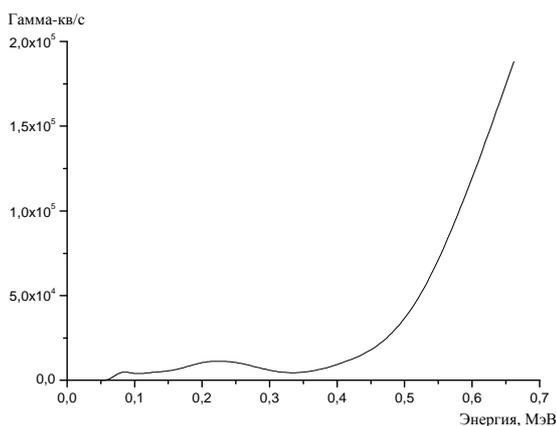


Рис. 4. Спектр гамма-излучения с боковой поверхности упаковочного комплекта У3а для гомогенной среды (^{137}Cs).

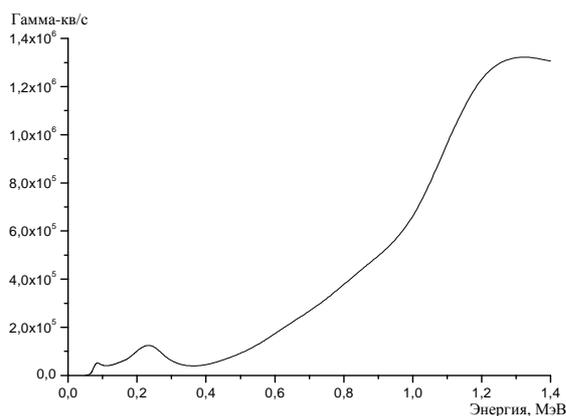


Рис. 5. Спектр гамма-излучения с боковой поверхности упаковочного комплекта У3а для гомогенной среды (^{60}Co).

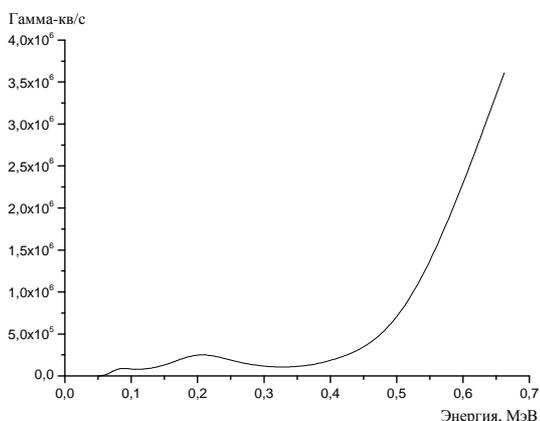


Рис. 6. Спектр гамма-излучения с боковой поверхности упаковочного комплекта У2а для гомогенной среды (^{137}Cs).

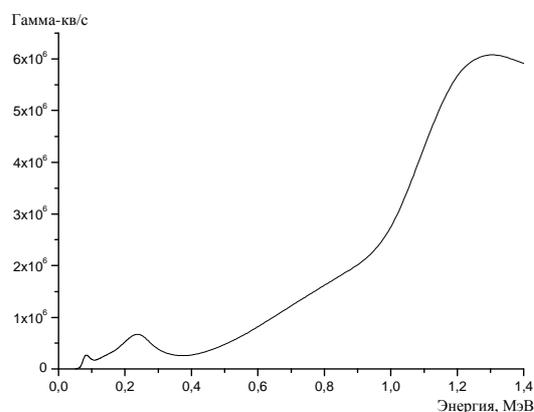


Рис. 7. Спектр гамма-излучения с боковой поверхности упаковочного комплекта У2а для гомогенной среды (^{60}Co).

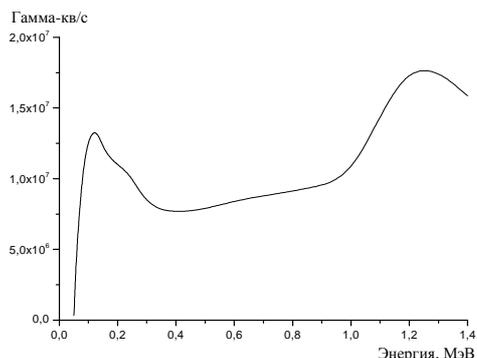


Рис. 8. Спектр гамма-излучения с боковой поверхности упаковочного комплекта У1 для гетерогенной среды (^{60}Co).

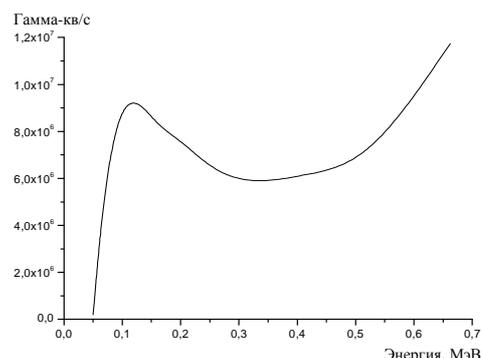


Рис. 9. Спектр гамма-излучения с боковой поверхности упаковочного комплекта У1 для гетерогенной среды (^{137}Cs).

На рис. 10 - 12 приведены зависимости МЭД на боковой поверхности упаковочных комплектов с различными видами РАО от относительного вклада активности ^{60}Co в суммарную активность смеси радионуклидов ($^{137}\text{Cs} + ^{60}\text{Co}$).

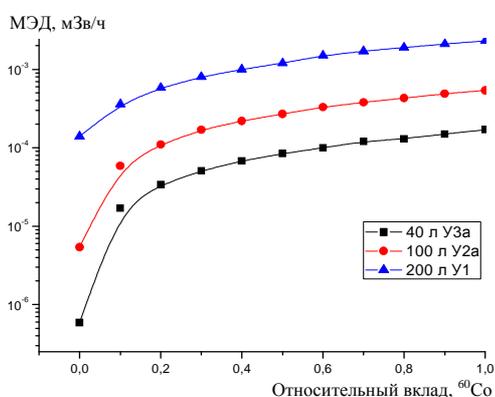


Рис. 10. Зависимость МЭД на боковой поверхности упаковок с гомогенными РАО от относительного вклада активности ^{60}Co в суммарную активность смеси радионуклидов ($^{137}\text{Cs} + ^{60}\text{Co}$).

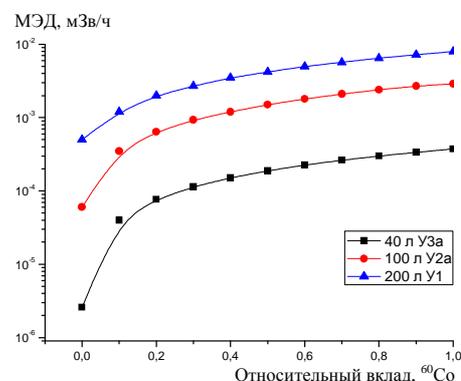


Рис.11. Зависимость МЭД на боковой поверхности упаковок с гетерогенными РАО (вариант гетерогенный 1 – без песка) от относительного вклада активности ^{60}Co в суммарную активность смеси радионуклидов ($^{137}\text{Cs} + ^{60}\text{Co}$).

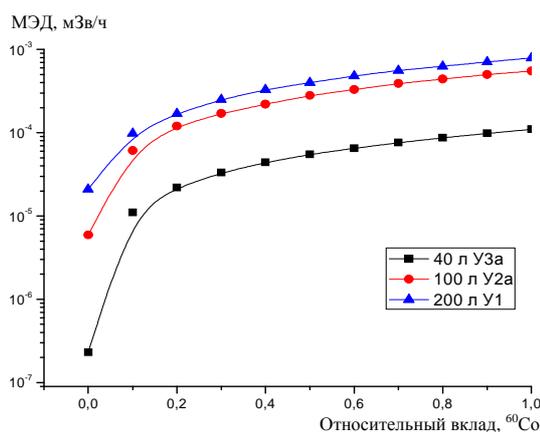


Рис.12. Зависимость МЭД на боковой поверхности упаковок с гетерогенными РАО (вариант гетерогенный 2 – с песком) от относительного вклада активности ^{60}Co в суммарную активность смеси радионуклидов ($^{137}\text{Cs} + ^{60}\text{Co}$).

Особенно резко возрастает МЭД при увеличении относительного содержания ^{60}Co от 0 до 15 %. Приведенные графики позволяют оценить МЭД для различных видов РАО различного радионуклидного состава.

В таблице приведены сводные значения (выбранные по указанным критериям) максимальных активностей в упаковках. Эти данные позволяют выбрать подходящий тип упаковки, исходя из данных по радионуклидному составу, активности и плотности РАО, которые необходимо поместить внутрь упаковки.

Максимальные значения активностей в упаковках, исходя из санитарно-гигиенических регламентов при транспортировании РАО

Вариант расчета	Максимальная активность в упаковке, Бк	
	Гомогенный источник	
	Cs-137	Co-60
200 л ПК У1	$9,4 \cdot 10^{11}$	$6,2 \cdot 10^{10}$
100 л ПК У 2а	$2,9 \cdot 10^{13}$	$3,2 \cdot 10^{11}$
100 л ПК У 2б	$6,6 \cdot 10^{12}$	$6,4 \cdot 10^{10}$
40 л ПК У 3а	$3,4 \cdot 10^{14}$	$1,2 \cdot 10^{12}$
40 л ПК У 3б	$9,7 \cdot 10^{13}$	$3,2 \cdot 10^{11}$
	Гетерогенный источник	
	Cs-137, (UO ₂ в воздухе)	Co-60 (железо в воздухе)
200 л ПК У1	$3,7 \cdot 10^{11}$	$2,2 \cdot 10^{10}$
100 л ПК У 2а	$2,0 \cdot 10^{12}$	$4,4 \cdot 10^{10}$
100 л ПК У 2б	$5,4 \cdot 10^{11}$	$2,9 \cdot 10^{10}$
40 л ПК У 3а	$5,1 \cdot 10^{13}$	$3,8 \cdot 10^{11}$
40 л ПК У 3б	$2,9 \cdot 10^{12}$	$7,1 \cdot 10^{10}$
	Cs-137, (UO ₂ в воздухе)	Co-60 (железо в песке)
200 л ПК У1	$7,1 \cdot 10^{12}$	$2,0 \cdot 10^{11}$
100 л ПК У 2а	$1,9 \cdot 10^{13}$	$2,2 \cdot 10^{11}$
100 л ПК У 2б	$6,7 \cdot 10^{12}$	$1,6 \cdot 10^{11}$
40 л ПК У 3а	$5,5 \cdot 10^{14}$	$1,3 \cdot 10^{12}$
40 л ПК У 3б	$1,5 \cdot 10^{13}$	$2,2 \cdot 10^{11}$

Выводы

Полученные в работе данные позволяют выбрать подходящий тип упаковки, исходя из данных по радионуклидному составу, активности и плотности РАО, которые необходимо поместить внутрь упаковки.

Наибольшую активность (до $3,4 \cdot 10^{14}$ Бк) можно безопасно транспортировать в случае наличия гомогенных РАО, загрязненных ¹³⁷Cs (упаковка У3а). Наименьшую активность ($2,2 \cdot 10^{10}$ Бк) можно перевозить при наличии крупных фрагментов (требующих использования 200 л ПК), содержащих ⁶⁰Co (упаковка У1). При их фрагментации и использовании 40 л ПК (упаковка У3а) можно будет перевозить до $3,8 \cdot 10^{10}$ ⁶⁰Co в одной упаковке.

В работе приведены также зависимости МЭД на поверхности упаковок с различными видами РАО от относительного вклада активности ⁶⁰Co в суммарную активность смеси радионуклидов (¹³⁷Cs + ⁶⁰Co). МЭД особенно резко возрастает при увеличении относительного содержания ⁶⁰Co от 0 до 15 %. Приведенные зависимости позволяют оценить МЭД для различных видов РАО различного радионуклидного состава.

Работа выполнена в рамках проекта УНТЦ № 3511.

**17 ОЦІНКА МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОЇ АКТИВНОСТІ
УПАКОВОК С ВИСОКОАКТИВНИМИ ВІДХОДАМИ**

**В. Г. Батій, В. В. Єгоров, О. А. Кафтанатіна, А. І. Стоянов,
Є. В. Рудичев, В. В. Селюкова, М. А. Хажмурадов**

Проведено розрахунки радіаційних характеристик різних упаковок з високоактивними відходами (ВВВ) об'єкта "Укриття". На підставі проведених розрахунків визначено граничні умови використання упаковок для безпечного транспортування та зберігання ВВВ на ЧАЕС

**17 ESTIMATION OF MAXIMALLY POSSIBLE ACTIVITY
OF PACKAGES WITH HIGH LEVEL WASTE**

**V. G. Batiy, V. V. Yegorov, O. A. Kaftanatina, O. I. Stoyanov
Ye. V. Rudychev, V. V. Selukova, M. A. Khazhmuradov**

The calculations of radiation characteristics of the different packages with "Ukryttya" object high level waste are shown. On the basis of the calculations the boundary conditions for the safe HLW transportation and storage at ChNPP have been determined.