

Результаты оценки радиационных рисков персонала и населения при транспортировании на переработку ОЯТ РУ ЭГП-6 с Билибинской АЭС во ФГУП «ПО «Маяк»

А.В. Деткина, О.П. Баринков, А.Н. Дорофеев, М.С. Орлов, С.В. Семеновых,
А.И. Целищев
(ООО НПФ «Сосны», РФ)

А.А. Строганов, А.В. Курындин, А.С. Шаповалов
(ФГУ «НТЦ ЯРБ», РФ)

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в связи с планируемым выводом из эксплуатации энергоблоков Билибинской АЭС стоит проблема дальнейшего обращения с ОЯТ РУ ЭГП-6. Билибинская АЭС находится в зоне вечной мерзлоты, что накладывает серьезные ограничения на доступные варианты вывоза ОЯТ. Перед авторами данной работы стояла задача оценить радиационный риск персонала и населения при различных вариантах транспортирования ОЯТ РУ ЭГП-6 с Билибинской АЭС на переработку во ФГУП «ПО «Маяк».

МЕТОДОЛОГИЯ

Для оценки рисков при транспортировании ОЯТ был использован метод, который заложен в программе Intertran 2. Intertran 2 была разработана в рамках координированной исследовательской программы МАГАТЭ в “The Probabilistic Safety Techniques Related to the Safe Transport of Radioactive Material” фирмой AMC Konsult AB under contract with the Swedish Nuclear Power Inspectorate. (IAEA Coordinated Research Program on “The Probabilistic Safety Techniques Related to the Safe Transport of Radioactive Material”). Intertran 2 основан на программе Radtran [1].

Определение риска согласно методологии, заложенной в Radtran [2], следующее: «риск – это произведение вероятности события на его последствия». Для транспортирования ОЯТ в нормальных и аварийных условиях эксплуатации под последствиями понимаются коллективные эффективные дозы (чел.Зв) различных групп населения и персонала, которые могут подвергнуться воздействию радиационного излучения от содержимого транспортных упаковок.

В соответствии с российскими нормами радиационной безопасности НРБ-99/2009 [3], радиационный риск – это вероятность возникновения у человека или его потомства какого-либо вредного эффекта в результате облучения.

Для оценки радиационных рисков в НРБ-99/2009 [3], в соответствии с рекомендациями Публикации № 103 МКРЗ [4], принята линейная беспороговая зависимость риска стохастических эффектов от дозы – пропорциональность величины риска эффективной дозе через коэффициенты риска, приведенные в таблице 1.

Table 1. Линейные коэффициенты радиационного риска злокачественных новообразований и наследственных дефектов

Облучаемая группа населения	Коэффициент риска злокачественных новообразований, $\times 10^{-2} \text{Зв}^{-1}$	Коэффициент риска наследственных эффектов, $\times 10^{-2} \text{Зв}^{-1}$	Сумма, $\times 10^{-2} \text{Зв}^{-1}$
Все население	5,5	0,2	5,7
Взрослые	4,1	0,1	4,2

Для установления пределов доз для персонала и населения используется усредненная величина коэффициента риска, равная $0,05 \text{ Зв}^{-1}$.

Согласно п. 2.3 НРБ-99/2009 [3] пределы индивидуального пожизненного риска при нормальной эксплуатации составляют:

- для персонала – $1,0 \cdot 10^{-3}$;
- для населения – $5,0 \cdot 10^{-5}$.

Уровень пренебрежимо малого риска равен 10^{-6} .

Пределы обобщенного риска потенциального (аварийного) облучения (произведение вероятности события, приводящего к облучению, и вероятности смерти, связанной с облучением):

- персонал – $2,0 \cdot 10^{-4}, \text{ год}^{-1}$;
- население – $1,0 \cdot 10^{-5}, \text{ год}^{-1}$.

Расчет индивидуальных радиационных рисков для проверки на соответствие установленным пределам проводился с учетом положения [5].

Для нормальных условий эксплуатации при транспортировании ОЯТ РУ ЭГП-6 можно рассчитать максимальные индивидуальные эффективные дозы облучения персонала и населения, а соответствующие им значения максимальных индивидуальных радиационных рисков определить умножением значений индивидуальных эффективных доз на усредненный коэффициент риска, равный $0,05 \text{ Зв}^{-1}$.

Для условий потенциального (аварийного) облучения необходимо оценивать сумму произведений максимальных индивидуальных эффективных доз на соответствующие значения вероятностей неблагоприятных событий (которые могут привести к облучению людей) и на усредненный коэффициент риска, равный $0,05 \text{ Зв}^{-1}$. Область применения такого подхода ограничена диапазоном эффективных доз 0–500 мЗв.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ РИСКА ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ПО РАЗЛИЧНЫМ МАРШРУТАМ

Проведенные технико-экономические исследования показали, что наиболее целесообразными являются два варианта вывоза ОЯТ с Билибинской АЭС на переработку. Помимо автомобильного и железнодорожного, в первом варианте предполагается использование воздушного транспорта, во втором – морского. Далее будем условно называть их воздушный и морской маршруты. Транспортировка ОЯТ РУ ЭГП-6 рассматривалась в упаковке типа В(U) для морского маршрута и упаковках типа В(U) и С для воздушного маршрута. Сводные исходные данные по обоим маршрутам приведены в таблице 2. Емкость и другие характеристики упаковочных комплектов выбирались исходя из экономических оценок.

Table 2. Данные по маршрутам транспортирования

Наименование маршрута	Морской		Воздушный	
	В(U) «морская»	В(U) «воздушная»	В(U)	С
Количество рейсов в год (длина пути, км):				
- автомобиль	64 (270)	73 (80)		30 (80)
- поезд	4 (3634)	37 (2300)		37 (2300)
- морское судно	4 (5000)	–		–
- самолет	–	73 (4700)		60 (4700)

Для расчета по Intertran 2, маршруты разбивались на участки по видам транспорта, которым предполагается транспортировать ОЯТ, и плотности населения на каждом из участков (таблица 3).

Table 3. Количество участков, на которые разбивался каждый из маршрутов

Наименование маршрута	Количество участков с разными плотностями населения
Морской	
Автомобильный участок	3
Морской участок	1
Железнодорожный участок	41
Воздушный	
Автомобильный участок 1	3
Авиационный участок	3
Автомобильный участок 2	3
Железнодорожный участок	29

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ РИСКА ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ В НОРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

В таблице 4 представлены dose rates на поверхности, на расстоянии 1 м, 2 м в зависимости от вида упаковки для транспортирования ОЯТ.

Table 4. Dose rate от упаковок, мЗв/ч

Наименование маршрута	Морской маршрут		Воздушный маршрут	
	В(U) «морская»	В(U) «воздушная»	С	
МЭД, мЗв/ч:				
- на поверхности упаковки	0,22	0,27	0,38	
- на расстоянии 2 м от поверхности упаковки	0,08	0,09	0,1	
- на расстоянии 1 м от поверхности упаковки	0,13	0,15	0,17	

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ РИСКА ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ В АВАРИЙНЫХ УСЛОВИЯХ

Исходные данные для оценки риска транспортирования в аварийных условиях для различных видов транспорта и типов упаковок приведены в таблице 5.

Table 5. Input data for transportation risk assessment for accident analysis

Наименование маршрута	Морской		Воздушный	
	В(U) «морская»	В(U) «воздушная»	С	
Вероятность аварии с использованием транспорта, км ⁻¹ :				
- автомобиль [6]		10 ⁻⁵		
- поезд [6]		1,8·10 ⁻⁸		
- морское судно [6]		1·10 ⁻⁶		
- самолет [7]		2,1·10 ⁻¹⁰		
Вероятность аварий по категориям, отн. ед.				
- автомобиль	0,91	0,91	0,996	

Наименование маршрута	Морской	Воздушный	
Тип используемой упаковки	В(U) «морская»	В(U) «воздушная»	С
- I категория	0,09	0,09	0,004
- II категория			
- самолет	-	0,894	0,894
- I категория	-	0,0431	0,1011
- II категория	-	0,0629	0,0049
- III категория			
- поезд	0,8	0,8	0,998
- I категория	0,2	0,2	0,002
- II категория			
- морское судно			
- I категория	0,9768	-	-
- II категория	0,0197352	-	-
- III категория	0,00028	-	-

В соответствии с российским нормативным документом НП-053-04 [8], устанавливающим требования к транспортированию радиоактивных материалов, потеря радиоактивного содержимого для упаковки типа В(U) и С не должна превышать $10^{-6} \cdot A_2$ в час при нормальных условиях перевозки, и за одну неделю $10 \cdot A_2$ для Kr-85 и A_2 для всех других радионуклидов при аварийных условиях, определенных в [8].

Для аварий I и II категорий тяжести выход равен 1,4% от допустимого выхода радиоактивного содержимого [9] по НП-053-04 [8] (с учетом того, что ОЯТ транспортируется в герметичных пеналах).

Для упаковок типа В(U) для морской и воздушной перевозок и типа С данные по долям выхода радионуклидов в зависимости от категории тяжести аварии приведены в таблицах 6-7.

Table 6. Доля выхода радионуклида относительно его содержания в транспортной упаковке в зависимости от категории тяжести аварии для упаковки типа С и В(U) «морской»

Категория тяжести аварии/Радионуклид	I категория	II категория	III категория
	Доля выхода, отн.ед.	Доля выхода, отн.ед.	Доля выхода, отн.ед.
^3H	$2,68 \cdot 10^{-7}$	$6,69 \cdot 10^{-3}$	1
^{60}Co	$5,93 \cdot 10^{-11}$	$5,93 \cdot 10^{-5}$	1
^{85}Kr	$3,16 \cdot 10^{-9}$	$3,16 \cdot 10^{-2}$	1
^{90}Sr	$7,51 \cdot 10^{-12}$	$7,51 \cdot 10^{-6}$	1
^{137}Cs	$1,23 \cdot 10^{-11}$	$1,23 \cdot 10^{-5}$	1
^{154}Eu	$1,04 \cdot 10^{-9}$	$1,04 \cdot 10^{-3}$	1
^{238}Pu	$3,34 \cdot 10^{-12}$	$3,34 \cdot 10^{-6}$	1
^{239}Pu	$4,57 \cdot 10^{-12}$	$4,57 \cdot 10^{-6}$	1
^{240}Pu	$4,11 \cdot 10^{-12}$	$4,11 \cdot 10^{-6}$	1
^{241}Am	$1,98 \cdot 10^{-12}$	$1,98 \cdot 10^{-6}$	1
^{241}Pu	$2,14 \cdot 10^{-12}$	$2,14 \cdot 10^{-6}$	1

Table 7. Доля выхода радионуклида относительно его содержания в транспортной упаковке в зависимости от категории тяжести аварии для упаковки типа В(U) «воздушной»

Категория тяжести аварии/Радионуклид	I категория	II категория	III категория
	Доля выхода, отн.ед.	Доля выхода, отн.ед.	Доля выхода, отн.ед.
^3H	$1,61 \cdot 10^{-6}$	$4,02 \cdot 10^{-2}$	1
^{60}Co	$3,56 \cdot 10^{-10}$	$3,56 \cdot 10^{-4}$	1
^{85}Kr	$1,90 \cdot 10^{-8}$	$1,90 \cdot 10^{-1}$	1
^{90}Sr	$4,51 \cdot 10^{-11}$	$4,51 \cdot 10^{-5}$	1
^{137}Cs	$7,40 \cdot 10^{-11}$	$7,40 \cdot 10^{-5}$	1
^{154}Eu	$6,24 \cdot 10^{-9}$	$6,24 \cdot 10^{-3}$	1
^{238}Pu	$2,01 \cdot 10^{-11}$	$2,01 \cdot 10^{-5}$	1
^{239}Pu	$2,74 \cdot 10^{-11}$	$2,74 \cdot 10^{-5}$	1
^{240}Pu	$2,47 \cdot 10^{-11}$	$2,47 \cdot 10^{-5}$	1
^{241}Am	$1,19 \cdot 10^{-11}$	$1,19 \cdot 10^{-5}$	1
^{241}Pu	$1,28 \cdot 10^{-11}$	$1,28 \cdot 10^{-5}$	1

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ ОЯТ РУ ЭГП-6 В НОРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Воздушная перевозка ОЯТ в упаковках типа В(U)

Результаты оценки радиационных рисков персонала и населения приведены в таблицах 8 и 9. Пределы радиационного риска, установленные в НРБ-99/2009 для персонала группы А ($1 \cdot 10^{-3}$), группы Б ($2,5 \cdot 10^{-4}$) и населения ($5 \cdot 10^{-5}$) при безаварийной воздушной перевозке ОЯТ РУ ЭГП-6 превышены не будут. Суммарная коллективная эффективная доза населения и персонала при этом составит 0,19 чел·Зв (0,177 чел·Зв – за счет облучения персонала и 0,0133 чел·Зв – за счет облучения населения).

Table 8. Максимальные годовые индивидуальные эффективные дозы и индивидуальные радиационные риски персонала и населения при транспортировании ОЯТ РУ ЭГП-6 в течение года

Категория	Максимальная индивидуальная эффективная доза, Зв	Максимальный индивидуальный радиационный риск, отн.ед.	Примечание
Население	$2,72 \cdot 10^{-6}$	$1,36 \cdot 10^{-7}$	На железнодорожном участке
Персонал группы А	$9,21 \cdot 10^{-3}$	$4,61 \cdot 10^{-4}$	На авиационном участке
Персонал группы Б	$8,24 \cdot 10^{-5}$	$4,12 \cdot 10^{-6}$	На железнодорожном участке

Table 9. Радиационные риски (коллективные эффективные дозы) облучения персонала и населения при транспортировании ОЯТ РУ ЭГП-6 в течение года

Категория	Коллективная эффективная доза, чел·Зв
Население	$1,33 \cdot 10^{-2}$
Персонал	$1,77 \cdot 10^{-1}$
Сумма	$1,90 \cdot 10^{-1}$

Морская перевозка ОЯТ РУ ЭГП-6 в упаковках типа В(У)

Результаты оценки радиационных рисков персонала и населения приведены в таблицах 10 и 11. Пределы радиационного риска, установленные в НРБ-99/2009 для персонала группы А ($1 \cdot 10^{-3}$), группы Б ($2,5 \cdot 10^{-4}$) и населения ($5 \cdot 10^{-5}$) при безаварийном транспортировании превышены не будут. Суммарная коллективная эффективная доза населения и персонала при этом составляет $0,1134 \text{ чел.}\cdot\text{Зв}$ ($0,113 \text{ чел.}\cdot\text{Зв}$ – за счет облучения персонала и $0,000394 \text{ чел.}\cdot\text{Зв}$ – за счет облучения населения).

Table 10. Максимальная годовая индивидуальная эффективная доза и индивидуальный радиационный риск персонала и населения при транспортировании ОЯТ РУ ЭГП-6 в течение года

Категория	Максимальная индивидуальная эффективная доза, Зв	Максимальный индивидуальный радиационный риск, отн.ед.	Примечание
Население	$4,71 \cdot 10^{-7}$	$2,36 \cdot 10^{-8}$	На автомобильном участке
Персонал группы А	$1,31 \cdot 10^{-2}$	$6,55 \cdot 10^{-4}$	На автомобильном участке
Персонал группы Б	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$1,45 \cdot 10^{-5}$	

Table 11. Радиационные риски (коллективные эффективные дозы) облучения персонала и населения при транспортировании ОЯТ РУ ЭГП-6 в течение года

Категория	Коллективная эффективная доза, чел·Зв
Население	$3,94 \cdot 10^{-4}$
Персонал	$1,13 \cdot 10^{-1}$
Сумма	$1,13 \cdot 10^{-1}$

Воздушная перевозка ОЯТ РУ ЭГП-6 в упаковках типа С

Как и при транспортировании ОЯТ РУ ЭГП-6 в упаковках типа В (У), при использовании упаковок типа С пределы радиационного риска для персонала и населения, установленные в НРБ-99/2009 для условий нормальной эксплуатации, превышены не будут (таблицы 12, 13). Суммарная коллективная эффективная доза населения и персонала $0,0748 \text{ чел.}\cdot\text{Зв}$ ($0,054 \text{ чел.}\cdot\text{Зв}$ – за счет облучения персонала и $0,00694 \text{ чел.}\cdot\text{Зв}$ за счет облучения населения).

Table 12. Максимальная годовая индивидуальная эффективная доза и индивидуальный радиационный риск персонала и населения при транспортировании ОЯТ РУ ЭГП-6 в течение года

Категория	Максимальная индивидуальная эффективная доза, Зв	Максимальный индивидуальный радиационный риск, отн.ед.	Примечание
Население	$1,82 \cdot 10^{-7}$	$9,10 \cdot 10^{-9}$	На автомобильном участке
Персонал группы А	$3,79 \cdot 10^{-3}$	$1,90 \cdot 10^{-4}$	На авиационном участке
Персонал группы Б	$2,81 \cdot 10^{-4}$	$1,41 \cdot 10^{-5}$	На железнодорожном участке

Table 13. Коллективные эффективные дозы для персонала и населения при транспортировании ТУК с ОЯТ РУ ЭГП-6 в течение года

Категория	Коллективная эффективная доза, чел·Зв
Население	$5,36 \cdot 10^{-3}$
Персонал	$6,94 \cdot 10^{-2}$
Сумма	$7,48 \cdot 10^{-2}$

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ ОЯТ РУ ЭГП-6 В СЛУЧАЕ АВАРИЙ

Воздушная перевозка

Суммарный максимальный индивидуальный риск при транспортировании ОЯТ РУ ЭГП-6 по воздушному маршруту для упаковок типа В(U) и типа С представлен в таблице 14. Значения коллективных радиационных рисков транспортирования ОЯТ РУ ЭГП-6 по воздушному маршруту для упаковок типа В(U) и типа С представлены в таблице 15. При этом указаны значения, получаемые непосредственно при расчетах по программе Intertran-2 (с использованием дозовых коэффициентов, заложенных в программу разработчиками), а также результаты расчетов с использованием дозовых коэффициентов, соответствующих НРБ-99/2009 [3] (60 Публикации МКРЗ [10]).

Table 14. Максимальные индивидуальные радиационные риски при транспортировании ОЯТ РУ ЭГП-6 по воздушному маршруту

Упаковка	Автомобиль	Самолет	Автомобиль	Поезд	Сумма
В(U)	$9,25 \cdot 10^{-8}$	$4,53 \cdot 10^{-6}$	$1,54 \cdot 10^{-7}$	$3,05 \cdot 10^{-8}$	$4,82 \cdot 10^{-6}$
С	$4,05 \cdot 10^{-9}$	$2,90 \cdot 10^{-7}$	$6,75 \cdot 10^{-9}$	$5,01 \cdot 10^{-11}$	$3,01 \cdot 10^{-7}$

Table 15. Коллективные радиационные риски при транспортировании ОЯТ РУ ЭГП-6 по воздушному маршруту, чел. – Зв

Упаковка	Автомобиль	Самолет	Автомобиль	Поезд	Сумма
Intertran-2					
В(U)	$8,12 \cdot 10^{-5}$	$4,54 \cdot 10^{-5}$	$3,42 \cdot 10^{-2}$	$3,69 \cdot 10^{-6}$	$3,43 \cdot 10^{-2}$
НРБ-99/2009					
В(U)	$1,05 \cdot 10^{-4}$	$1,56 \cdot 10^{-5}$	$4,46 \cdot 10^{-2}$	$4,84 \cdot 10^{-6}$	$4,47 \cdot 10^{-2}$
Intertran-2					
С	$7,31 \cdot 10^{-7}$	$3,38 \cdot 10^{-6}$	$2,80 \cdot 10^{-4}$	$6,07 \cdot 10^{-7}$	$2,85 \cdot 10^{-4}$
НРБ-99/2009					
С	$9,55 \cdot 10^{-7}$	$9,97 \cdot 10^{-7}$	$3,69 \cdot 10^{-4}$	$7,97 \cdot 10^{-7}$	$3,72 \cdot 10^{-4}$

Морская перевозка

Суммарный максимальный индивидуальный радиационный риск при транспортировании ОЯТ по морскому маршруту для упаковки типа В(U) представлен в таблице 16. Коллективный радиационный риск транспортирования ОЯТ по морскому маршруту для упаковки типа В(U) представлен в таблице 17.

Table 16. Результаты расчетов годовых значений обобщенных радиационных рисков при транспортировании ОЯТ РУ ЭГП-6 по морскому маршруту

Упаковка	Автомобиль	Морское судно	Поезд	Сумма
В(U)	$1,46 \cdot 10^{-7}$	$3,59 \cdot 10^{-7}$	$4,97 \cdot 10^{-9}$	$5,10 \cdot 10^{-7}$

Table 17. Коллективный радиационный риск при транспортировании ОЯТ РУ ЭГП-6 по морскому маршруту, чел. – Зв

Упаковка	Автомобиль	Морское судно	Поезд	Сумма
Intertran-2				
В(U)	$3,09 \cdot 10^{-5}$	$7,04 \cdot 10^{-9}$	$1,26 \cdot 10^{-4}$	$1,59 \cdot 10^{-4}$
НРБ-99/2009				
В(U)	$4,04 \cdot 10^{-5}$	$9,13 \cdot 10^{-9}$	$1,62 \cdot 10^{-4}$	$2,02 \cdot 10^{-4}$

СРАВНЕНИЕ РИСКОВ ПРИ ВОЗДУШНОЙ И МОРСКОЙ ПЕРЕВОЗКЕ ОЯТ РУ ЭГП-6 С БИЛИБИНСКОЙ АЭС ВО ФГУП «ПО «МАЯК»

Максимальный индивидуальный риск при транспортировании ОЯТ РУ ЭГП-6 различными маршрутами представлен в таблице 18. Коллективные риски при транспортировании ОЯТ представлены в таблице 19.

Table 18. Результаты расчетов годовых значений обобщенных радиационных рисков при транспортировании ОЯТ ЭГП-6 с Билибинской АЭС на ФГУП «ПО «Маяк»

Маршрут	Суммарное значение
Воздушный (упаковка В(U))	$4,82 \cdot 10^{-6}$
Воздушный (упаковка С)	$3,01 \cdot 10^{-7}$
Морской	$5,10 \cdot 10^{-7}$

Table 19. Коллективный радиационный риск при транспортировании ОЯТ РУ ЭГП-6, чел. – Зв

Маршрут	Суммарное значение	
	Intertran-2	НРБ-99/2009
Воздушный (упаковка В(U))	$3,43 \cdot 10^{-2}$	$4,47 \cdot 10^{-2}$
Воздушный (упаковка С)	$2,85 \cdot 10^{-4}$	$3,72 \cdot 10^{-4}$
Морской	$1,59 \cdot 10^{-4}$	$2,02 \cdot 10^{-4}$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с полученными результатами, для всех рассмотренных маршрутов движения, используемых видов транспорта и транспортных упаковочных комплектов радиационные риски для персонала и населения в условиях нормальной эксплуатации не превышают годовые пределы рисков, установленные в НРБ-99/2009 для персонала ($1 \cdot 10^{-3}$ для персонала группы А и $2,5 \cdot 10^{-4}$ для персонала группы Б) и населения ($5 \cdot 10^{-5}$).

На основании полученных данных о последствиях потенциальных аварий можно сделать вывод о возможности безопасного транспортирования ОЯТ РУ ЭГП-6 в упаковках типа В(U) по морскому маршруту в соответствии с НРБ-99/2009 и НП-053-04. Годовой обобщенный радиационный риск облучения населения (персонала) составляет $5,1 \cdot 10^{-7}$ при предельных значениях $1 \cdot 10^{-5}$ для населения и $2 \cdot 10^{-4}$ для персонала группы А [3].

При воздушной перевозке ОЯТ РУ ЭГП-6 в упаковках типа С (по 18 ОТВС в каждой упаковке) также не вызывает сомнения возможность обеспечения безопасности персонала и населения в соответствии с требованиями действующих норм и правил. При этом обобщенный радиационный риск облучения населения (персонала) может достигнуть

величины $3,01 \cdot 10^{-7}$, что также значительно меньше пределов риска, установленных НРБ-99/2009.

Максимальный радиационный риск облучения персонала и населения в случае аварии будет иметь место при транспортировании ОЯТ РУ ЭГП-6 в упаковках типа В (U) (по три ОТВС в каждой упаковке) воздушным транспортом. В этом случае, несмотря на то, что расчетное значение обобщенного радиационного риска – $4,82 \cdot 10^{-6}$ – не превышает предела обобщенного радиационного риска для населения, равного $1 \cdot 10^{-5}$, следует отметить небольшой коэффициент запаса (около 2) расчетной величины относительно предельного значения.

Учитывая неопределенности исходных данных, которые использовались при расчетах, и серьезные последствия, в том числе, радиоактивное загрязнение окружающей среды в случае аварии, наиболее безопасной является воздушная перевозка ОЯТ РУ ЭГП-6 при условии использования упаковки типа С.

При невозможности изготовления упаковки типа С с требуемыми техническими характеристиками предпочтительна морская перевозка ОЯТ РУ ЭГП-6.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 INTERTRAN2 Transportation Risk Assessment Package User's Guide.
- 2 K. S. Neuhauser, F. L. Kanipe and R. F. Weiner. Radtran 5 Technical Manual. Transportation Safety and Security Analysis Department Sandia National Laboratories, SAND2000-1256, Unlimited Release, May 2000.
- 3 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). СанПин 2.6.1.2523-09. – Взамен НРБ-99: утв. Мин-вом здравоохранения РФ 07.07.2009: введ. 01.09.2009 – М., 2009. – 61 с.
- 4 ICRP Publication 103: Recommendations of the ICRP. Annals of the ICRP. - Volume 37/2-4/.
- 5 Положение о прогнозировании индивидуальных радиационных рисков персонала и населения при нормальной эксплуатации и возможных авариях на объектах использования атомной энергии, утверждено приказом Ростехнадзора от 14 июля 2010 г. № 605.
- 6 Методические указания о порядке осуществления надзора за обеспечением радиационной безопасности при выводе из эксплуатации, транспортировании и передаче на долговременное хранение радиоизотопных термоэлектрических генераторов: РД 10-04-2006. – утв. 01.02.2007.
- 7 Hoffmann, H. H., Skoff, G. & Berg, H.P. Probabilistic safety analysis of external events in German nuclear power plants. // Transactions of the 14th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT 14), France, Lyon, 1997.– Vol. 10.– 87 – 94.
- 8 Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов: НП-053-04. – Взамен ПБТРВ-73 и ОПБЗ-83: утв. Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору 04.10.2004: введ. 01.05.2005 – М., 2005. – 105 с.
- 9 Экспертное заключение по заявке на выдачу сертификата-разрешения на радиоактивный материал особого вида для пепела с фрагментом ОЯТ РУ ЭГП-6 Билибинской АЭС. / ФГУП «РФЯЦ – ВНИИЭФ». – № 411-1011.
- 10 ICRP, 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1-3).