МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК

Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51038.

УДК 621.039.538

Физически оптимальная защитная композиция ядерного реактора

Лукьянчиков А.В., студент кафедра «Ядерные реакторы и установки», Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Перевезенцев В.В, д.т.н., доцент Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана <u>bauman@bmstu.ru</u>

Проблема уменьшения массогабаритных характеристик защитных композиций ядерных реакторов актуальна не только для транспортных установок, но имеет существенное значение и в стационарной энергетике.

Радиационная обстановка при эксплуатации ядерного реактора формируется, в основном, за счет:

- быстрых нейтронов
- нейтронов средних энергий

- тепловых нейтронов

- гамма-излучения из активной зоны

 захватного гамма-излучения, в том числе, возникающего непосредственно в защитной композиции

С учетом качественно одинакового характера ослабления гамма-квантов ~ exp (-- μr) и нейтронов в веществе ~ exp [- r / λ (E_n)] следует, что при условии $\mu \approx 1/\lambda$ можно обеспечить оптимальный состав защитной композиции. [1]

Один из самых простых способов определения оптимального состава — сравнение длин релаксации упомянутых составляющих ионизирующего излучения в различных материалах и их комбинациях. Такой подход можно использовать для ориентировочных оценок эффективности защитного материала без использования сложных методов расчета ослабления ионизирующего излучения в защитных композициях.

Ниже рассматриваются материалы, наиболее эффективно ослабляющие быстрые нейтроны (с энергией выше 0.2 МэВ), нейтроны средних энергий (0.4 эВ – 0.2 МэВ) и тепловые нейтроны (менее 0.4 эВ), гамма-кванты. В качестве характеристики ослабления гамма-излучения используется величина, обратная линейному коэффициенту ослабления гамма-квантов (энергии 6 МэВ).

Из анализа подобранных данных видно, что минимальной длиной релаксации быстрых нейтронов обладают тяжелые металлы (Au, Pt, Ir, Re, Os), гидриды титана TiH₂, циркония ZrH_2 и обедненного урана UH₃. Длина релаксации плотности потока быстрых нейтронов (λ_6) для этих материалов лежит в диапазоне 5.4 – 5.6 см.

Наибольшую эффективность ослабления нейтронов средних энергий имеют материалы с большим содержанием водорода. Так, гидрид титана имеет длину релаксации плотности потока нейтронов средних энергий, равную 1.9 см. Соединения N(H)_n, (CH₂)_n и обедненный UH₃ — приблизительно 2.3 см.

Наименьшую длину релаксации тепловых нейтронов имеют такие материалы, как Gd ($\approx 1/1400$ см), Sm, Cd и B ($\approx 1/100$ см).

Минимальные длины релаксации гамма-квантов имеют металлы с большим зарядом ядер и высокой плотностью: Ir, Os, Pt, Re, Au, U, W. λ_{γ} для таких материалов находится в диапазоне от 1.1 до 1.3 см.

Таким образом, условию минимальности длин релаксации удовлетворяют смеси из тяжелых металлов и водородосодержащих материалов.

Варьируя объемную долю тяжелого материала в такой смеси, можно добиться соотношения, при котором наибольшая из упомянутых длин релаксации станет минимальна, что обеспечит минимальные габаритные характеристики защитной композиции.

Комбинации материалов с наименьшей длиной релаксации полной мощности дозы (оптимум по габаритам)

Материал	Объемная	Плотность,	Длина	Длина	Длина	Длина
защиты	доля	р (г/см ³)	релаксации	релаксации	релаксации	релаксации
	тяжелого		плотности	плотности	плотности	гамма-
	материала, (%)		быстрых	потока нейтронов	потока тепловых	квантов, ^л _у
				средних	нейтронов,	(см)
			(см)	энергий. ^λ .,	λ ₋ (cm)	
			()	(см)	1 (000)	
Au, Pt, Ir,						
Pt, Re, Os +	64	12.8	6.3	6.3	< 2	2
(CH ₂) _n						
94% W +	6.4				< 2	2.2
(CH ₂) _n	64	11.3	6.3	6.3		2.2
$Co + (CH_2)_n$	65	6.1	6.4	6.4	< 2	4.8
UH ₃ +	60	()	(5	2.2	< 2	3.8
(CH ₂) _n	00	6.9	6.5	2.3		5.0
$Pd + (CH_2)_n$	65	8.2	6.5	6.5	< 2	3.5
Au, Pt, Ir,					< 2	
Pt, Re, Os +	59	11.8	6.5	6.5		2.2
(H ₂ O)						
94% W +	50	11.5	6.5	6.5	< 2	23
(H ₂ O)	57	11.5	0.5	6.5		2.5
Ni, Cu +	65	6.1	6.5	<i></i>	< 2	1.8
$(CH_2)_n$	05	0.1	0.5	6.5		т.0
$TiH_2 + Pb$	40	4.5	6.5	6.5	< 2	6.8
$Co + (H_2O)$	60	5.7	6.8	6.8	< 2	5.1
$Pd + (H_2O)$	60	7.7	6.9	6.9	< 2	3.7
Ni, Cu +	61	5.8	60		< 2	5 1
(H ₂ O)	01	5.0	0.7	6.9		5.1
$Fe+(H_2O)$	80	5.1	7	7	< 2	7.5
$Pb + (H_2O)$	20	8.4	9.6	9.6	3.4	10

Плотность (соответственно, и масса) защитной композиции зависит от объемной доли тяжелого вещества ω . Вследствие этого оптимальное значение ω_G , при котором вес защиты минимален, не совпадает с ω_V , при котором минимальны габариты.

Вес защитной композиции зависит от объемной доли тяжелого вещества ω , плотности $\rho(\omega)$ и толщины X.

Все виды компоновок защиты вокруг реакторной установки можно свести к трем вариантам геометрии: плоская, цилиндрическая и сферическая.



Рис. 1. Варианты компоновки защитной композиции

В случае плоской геометрии вес защиты равен весу призмы, то есть $G_{nn}(\omega) \sim \rho(\omega) \times X$

Вес цилиндрической защиты: $G_{\mu}(\omega) \sim \rho(\omega) \times X \times (X+2R_0)$

Вес сферической защиты: $G_{c\phi}(\omega) \sim \rho(\omega) \times [(X+R_0)^3 - R_0^3)$

Используя эти формулы, можно вычислить объемную долю тяжелого компонента, при котором вес защиты будет минимален.

При этом следует отметить неочевидные результаты, полученные таким способом. В таблице 2 приведены композиции из железоводных, урановодных и свинцововодных материалов, обеспечивающие предельно допустимое значение мощности дозы при тепловой мощности ядерного реактора 50 МВт.

Оптимальные составы материалов защитной композиции по габаритам и по массе в случае трех видов геометрической компоновки

Материал защиты	$\omega_{\rm V}$ / толщина	ω_{G} / вес призмы	$\omega_{\rm G}$ / вес цилиндра	ω_G / вес сферы
$Fe + H_2O$	68% / 1.27 м	20% / 6.02 т/м ²	50% / 18.5 т/м ²	65% 42.2 т
$Pb + H_2O$	38% / 1.7 м	13% / 4.62 т/м ²	14% / 16.3 т/м ²	15% 41.8 т
$U + H_2O$	38% / 1.22 м	8% / 4.36 т/м ²	8% / 14 т/м ²	10% 33.5 т

Как и следует ожидать, минимальные габариты получаются при использовании урано- и железоводных составов. Однако свинцоводная защита в случае цилиндрической и сферической компоновки весит меньше железоводной.

На практике выбор материалов для стационарных и транспортных ЯЭУ кардинально отличается из соображений оптимума по массе, габаритам и стоимости защитной композиции.

Кроме того, могут встречаться случаи, когда компоновка оборудования ЯЭУ изначально предполагает некоторый объем для защитной композиции, который заведомо больше оптимального по габаритам. Используя приведенную методику, можно выбрать объемную долю тяжелого материала, соответствующую данному объему.

Список литературы

- 1. Перевезенцев В.В. Основы инженерных методов расчётов защиты от ионизирующих излучений ЯЭУ. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1994. 67 с.
- Защита от ионизирующих излучений // Машкович В.П., Кудрявцева А.В. М.: Энергоатомиздат, 1995. 496 с.
- Основы проектирования защиты реакторных установок // А. И. Кирюшин, Е. А. Шлокин М.: Энергоатомиздат, 1991. 264 с.