

Федеральное агентство по образованию Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



УТВЕРЖДАЮ

Декан ФТФ, проф., д.ф.-м.н.

_____ В.И.Бойко

« _____ » _____ 2005г.

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЗАЩИТНЫХ
СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
ОТ НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

методические указания по выполнению лабораторной работы №2 по дисциплине «Материалы ядерной техники» для студентов специальности 140305 (070500) "Ядерные реакторы и энергетические установки"

Томск-2005

УДК 621.039.53(07)

Сравнительный анализ защитных свойств композиционных материалов от нейтронного излучения. Методические указания к лабораторной работе №2 по дисциплине «Материалы ядерной техники». для студентов специальности 140305 (070500).-Томск: Изд. ТПУ, 2005.- 12 с.

Составители: доц. каф. ФЭУ Кадлубович Б.Е.

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры «Физико-энергетических установок»

«___»_____2005 г.

Зав.каф. ФЭУ, проф., д.ф.-м.н.

В.И.Бойко

Одобрено методической комиссией ФТФ.

Председатель методической комиссии,

доцент, к.т.н.

В.Д. Каратаев

«___»_____2005 г.

Цель работы: изучение защитных свойств композиционных материалов от нейтронов различных энергий и определение геометрических и массовых коэффициентов ослабления.

Приборы и оборудование: пересчетный прибор, сцинтилляционный счетчик нейтронов, графитовая призма, источник нейтронов, набор защитных материалов, штангенциркуль.

ВВЕДЕНИЕ

Разработка устройств генерирующих мощные поля ионизирующих излучений актуализирует задачи защиты от них. При защите от мощных потоков, образованных совокупностью ионизирующих излучений различной природы, традиционно применяются многослойная геометрия и многослойные композиционные материалы. В число задач академического и прикладного характера, возникающих в данных случаях, входит оптимизация сочетания массо-габаритных показателей и защитных свойств конструкций. Последние определяются комплексом характеристик материалов, используемых в этих целях.

Традиционной структурой защитных экранов остается гетерогенная, что обуславливает сложность технологий их изготовления. Отличия ядерно-физических, механических и теплофизических

свойств материалов, из которых выполнены отдельные слои гетерогенной структуры приводят к резкой неоднородности поля энерговыделения и, соответственно, поля температур в объеме многослойного материала при воздействии мощного импульса ионизирующего излучения. Таким образом, актуальной является задача поиска путей создания новых материалов, способных работать в условиях стационарного и импульсного воздействия полей ионизирующего излучения. При этом необходимо обеспечить гомогенность и требуемое сочетание различных свойств.

Совершенствование техники радиационной защиты требует решения комплекса задач, часть из которых являются материаловедческими. Одной из современных материаловедческих технологий является самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС), основанный на способности целого ряда неорганических элементов и соединений вступать в экзотермическую реакцию, распространяющуюся по объему реакционной среды в волновом режиме. Высокое качество и относительно невысокая стоимость СВС–продуктов, обусловленная утилизацией химической энергии компонентов, а также возможность быстрого получения широкой номенклатуры материала-

лов в требуемых количествах способствует их успешному применению для решения различных практических задач.

При защите от многофакторного ионизирующего излучения мощных ИИИ необходимо использовать материалы, эффективно ослабляющие различные виды излучений и при этом обладающие необходимыми эксплуатационными характеристиками: прочностными, радиационная и термическая стойкость, химическая инертность и т.д. Рассмотрим некоторые материалы, обеспечивающие защиту от излучений, сопровождающих реакцию деления. Как уже отмечалось, при делении некоторых тяжелых ядер практически одновременно с этим процессом рождаются высокоэнергетичные нейтроны деления, средняя энергия которых близка к 2 МэВ. При этом на один акт деления нуклидов U^{235} и Pu^{239} приходится 2,47 и 2,9 мгновенных нейтронов, соответственно.

Основной принцип построения защит от высокоэнергетичных нейтронов состоит в замедлении быстрых нейтронов с последующим поглощением замедлившихся. Замедление быстрых нейтронов может быть осуществлено за счет упругого рассеяния нейтронов на ядрах легких материалов. Однако при энергии нейтрона, превышающей 1 МэВ, сечения взаимодействия нейтронов с ядрами легких материалов

сравнительно малы, малы и их замедляющие способности. В этом случае для эффективного замедления быстрых нейтронов используют реакцию неупругого рассеяния нейтронов на ядрах тяжелых элементов. Если ввести в защиту элементы с высокой атомной массой, то в результате неупругих рассеяний нейтроны с энергией выше порога рассеяния будут эффективно сбрасывать свою энергию до таких значений, при которых сечения упругого рассеяния нейтронов станут достаточно большими. После замедления нейтронов до низких энергий они с большой вероятностью будут поглощаться ядрами, входящими в состав защиты. Можно утверждать, что ослабление потоков высокоэнергетичных нейтронов будут эффективно обеспечивать материалы, сочетающие в своем составе как легкие, так и тяжелые ядра.

Сравнительно высокими сечениями упругого рассеяния обладают элементы с небольшой атомной массой. В таблице 1 приведены данные расчетов эффективных сечений полного взаимодействия и упругого рассеяния нейтронов спектра деления с материалами.

Для всех рассмотренных элементов характерны сравнительно малая вероятность взаимодействия нейтронов, обладающих энергиями более 1 МэВ и преобладающий вклад в полное сечение взаимодействия нейтронов спектра деления реакции упругого рассеяния.

Анализируя данные таблицы 1, можно заключить, что помимо водорода в состав защитных композиций могут быть введены такие элементы, как бериллий, бор, углерод.

Таблица 1.

Материал	Изотопный состав	Содержание в природной смеси, %	Эффективные сечения взаимодействия нейтронов спектра деления	
			$\sigma_{tot}^{\text{эф}}$, барн	$\sigma_{el}^{\text{эф}}$, барн
Водород	H_1^1	≈100	5,36	5,35
Литий	Li_3^6	7,52	2,37	1,77
	Li_3^7	92,48	1,78	1,66
Бериллий	Be_4^9	100	3,36	3,31
Бор	B_5^{10}	20	3,28	2,69
	B_5^{11}	80	2,47	2,47
Углерод	C_6^{12}	≈100	2,82	2,82
Азот	N_7^{14}	≈100	2,35	2,31

Таблица 2.

Материал	Порог неупругого рассеяния, МэВ	Эффективные сечения взаимодействия нейтронов спектров деления	
		$\sigma_{tot}^{\text{эф}}$, барн	$\sigma_{in}^{\text{эф}}$, барн
Титан	0,40	3,54	0,24
Железо	0,76	3,46	0,38
Никель	1,50	3,95	0,19
Цирконий	0,80	6,92	0,31
Ниобий	0,30	7,27	0,79
Молибден	0,20	6,93	0,73
Вольфрам	0,10	7,30	1,72
Свинец	0,60	6,50	0,30
Уран	0,008	8,02	1,79

При выборе тяжелой компоненты защиты от потоков нейтронов деления необходимо учитывать как полное сечение взаимодействия, так и сечение неупругого рассеяния. Это обусловлено тем, что благодаря реакции неупругого рассеяния на ядрах тяжелых элементов можно достичь эффективного замедления нейтронов высоких энергий. В таблице 2 приведены эффективные сечения полного взаимодействия и неупругого рассеяния нейтронов спектра деления, с ядрами ряда элементов, имеющих средний и высокий атомный номер

На основании данных таблицы 2 можно выделить группу элементов, обладающих с одной стороны сравнительно высоким сечением взаимодействия с нейтронами спектра деления, с другой – низкими значениями порога неупругого рассеяния и относительно высокими сечениями неупругого рассеяния. Это прежде всего вольфрам, являющийся одним из эффективных замедлителей высоко энергетичных нейтронов среди тяжелых элементов.

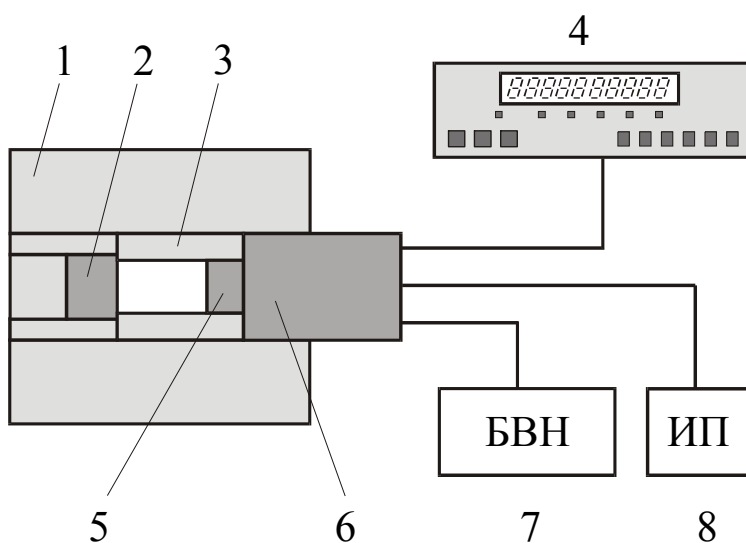
Таким образом, можно предположить, что неводородосодержащие смеси вольфрама и легких элементов можно рассматривать как перспективные для защиты от потоков нейтронов деления.

Как уже отмечалось, замедлившиеся до тепловых энергий нейтроны должны эффективно поглощаться материалами защиты. Среди

легких элементов высокое сечение поглощения тепловых нейтронов имеет бор сечение захвата тепловых нейтронов естественным бором составляет 750 б). Вольфрам, в свою очередь, также эффективно поглощает нейтроны низких энергий (сечение поглощения тепловых нейтронов составляет около 20 б для естественного вольфрама).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА.

Экспериментальная установка схематически представлена на рисунке. Поток нейтронов, генерируемый источником 2 через коллимирующий канал 3 попадает на исследуемый материал 5. Поток нейтронов на выходе из образцов фиксируется сцинтилляционным детектором 6. Сцинтилляции регистрируются фотоэлектронным умножителем и через согласующее устройство импульсы с ФЭУ поступают на пересчетное устройство 4.



мирующий канал 3 попадает на исследуемый материал 5. Поток нейтронов на выходе из образцов фиксируется сцинтилляционным детектором 6. Сцинтилляции регистрируются фотоэлектронным умножителем и через согласующее устройство импульсы с ФЭУ поступают на пересчетное устройство 4.

Основной трудностью при проведении подобных экспериментов является низкая эффективность регистрации нейтронов сцинтилляционным детектором и высокий уровень шумов от гамма-квантов, образующихся при радиационном захвате нейтронов.

Первая проблема решается увеличением мощности нейтронного источника или приближением детектора к нему. В последнем случае коллимирующий канал необходимо выполнять из материалов с малой длиной замедления и низким альбедо.

Снижение шумов от гамма-квантов возможно при использовании газоразрядных детекторов в режиме ограниченной пропорциональности и/или размещением дополнительного детектора гамма-квантов для регистрации нейтронных сцинтилляций по схеме анти-совпадений.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить схему экспериментальной установки, проверить правильность размещения оборудования и надежность монтажа. Включить источники питания детектора нейтронов и пересчетное устройство. Дать прогреться оборудованию не менее чем 30 минут.

2. Зафиксировать детектор на необходимой глубине в канале призмы и измерить фон. **Все измерения проводятся не менее 5 (пяти) раз при времени экспозиции обеспечивающем статистически достоверный результат.**
3. Поместить в канал призмы источник нейтронов и измерить скорость счета N_0 , на фиксированной глубине без исследуемых материалов. В дальнейшем, при размещении исследуемых материалов расстояние от источника до торца детектора должно быть одинаковым.
4. Поочередно размещая образцы материалов между детектором и источником снять зависимость скорости счета от толщины исследуемых материалов. После измерения зависимости скорости счета от толщины исследуемого материала удалить образцы из установки и повторно измерить N_0 . Данные занести в таблицу 1.
5. Сменить сцинтилляционную насадку НТ на БТ и повторить измерения, начиная со второго пункта. Замена насадки проводится в присутствии преподавателя с обязательным отключением питания детектора.

Таблица 1.

Материал	Толщина	Массовая толщина	N	$N \pm \Delta N$	N_γ	N/N_0	$k \pm \Delta k$
–	0	0	N_0				
WB	x_1		N_1 N_2 N_3 N_4 N_5				
	x_2						
	x_n						
–	0	0	N_0				
B ₄ C							
–	0	0	N_0				
Pb							
–	0	0	N_0				

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Рассчитать среднюю скорость счета сцинтилляционного детектора и погрешность ее измерения.
2. Рассчитать коэффициенты ослабления для используемых материалов и оценить погрешность их определения.
3. Построить зависимость коэффициентов ослабления от толщины материалов и от массовой толщины, где.
4. Провести анализ полученных зависимостей и сделать выводы о преимуществах и недостатках материалов при использовании их в качестве защиты от нейтронного излучения.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие процессы сопровождают прохождение нейтронов через вещество, их зависимость от энергии нейтрона и свойств среды?
2. Каким образом сказывается пористость и гетерогенность защиты на процесс прохождения нейтронов и гамма-квантов?
3. Какие требования предъявляются к материалам при защите от различных видов ионизирующего излучения?
4. Каким образом влияет на точность определения коэффициентов ослабления геометрия эксперимента и материал замедлителя?
5. В чем недостатки традиционных защитных материалов и как должна выглядеть "идеальная защита"?

ЛИТЕРАТУРА

1. Сборник лабораторных по ядерной физике: Учебное пособие для вузов/Под ред. проф. К.Н. Мухина–М.: Атомиздат, 1979 г.
2. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика: Учебник для вузов. Т. 1. Физика атомного ядра.–М.: Энергоатомиздат, 1983 г.
3. Гусев Н.Г., Машкович В.П., Суворов А.П. Защита от ионизирующих излучений. Т. 1. Физические основы защиты от излучений: Учебник для вузов.–М.: Атомиздат, 1980 г.
4. Голубев Б.П. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений: Учебник для вузов/Под ред. Е.Л. Столяровой.–М.: Энергоатомиздат, 1986 г.