

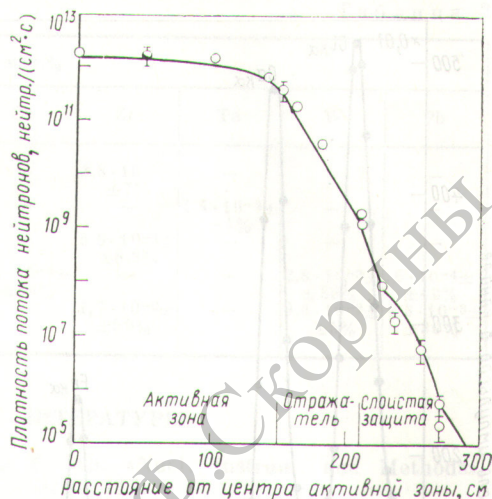
Р и с. 2. Пространственное распределение мощности дозы γ -излучения в боковой биологической защите:

● — эксперимент; — — — расчет для плоской геометрии; — — — расчет с учетом цилиндрической геометрии, поправки на наличие стальной арматуры в бетоне

так как ее пронизывают многочисленные технологические каналы (ТК) и каналы системы управления и защиты (СУЗ). Кроме того, из-за довольно жестких температурных ограничений здесь применяется графит и чугун в виде многослойной защиты.

Экспериментальное исследование верхней биологической защиты проводилось в полах ячейках ТК с использованием специальных подвесок, позволяющих, в частности, имитировать слоистую защиту из чугуна и графита. Измерялось пространственное распределение плотности потока нейтронов энергией $E > 2$ МэВ (рис. 3). Экспериментальные данные приведены к 1 Вт мощности реактора.

Расчет полей нейтронного излучения в активной зоне и биологической защите проводился в P_2 -при-



Р и с. 3. Пространственное распределение плотности потока нейтронов в верхней биологической защите:

○ — эксперимент; — — — расчет

ближении для плоской геометрии (21 группа) по программе 9M [2] с учетом наличия в верхнем отражателе конструкционной стали ТК и каналов СУЗ. Экспериментальные и расчетные данные (см. рис. 3) удовлетворительно согласуются.

Поступило в Редакцию 22/VII 1976 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукьянов М. А. и др. В сб.: Исследование вопросов физики защиты реакторов АЭС. М., 1974, с. 108 (ПК ИАЭ СЭВ).
2. Марчук Г. И. Методы расчета ядерных реакторов. М., Госатомиздат, 1961.

УДК 539.1.074.55

Анализ твердых смазочных покрытий по рентгеновскому излучению, возбуждаемому протонами

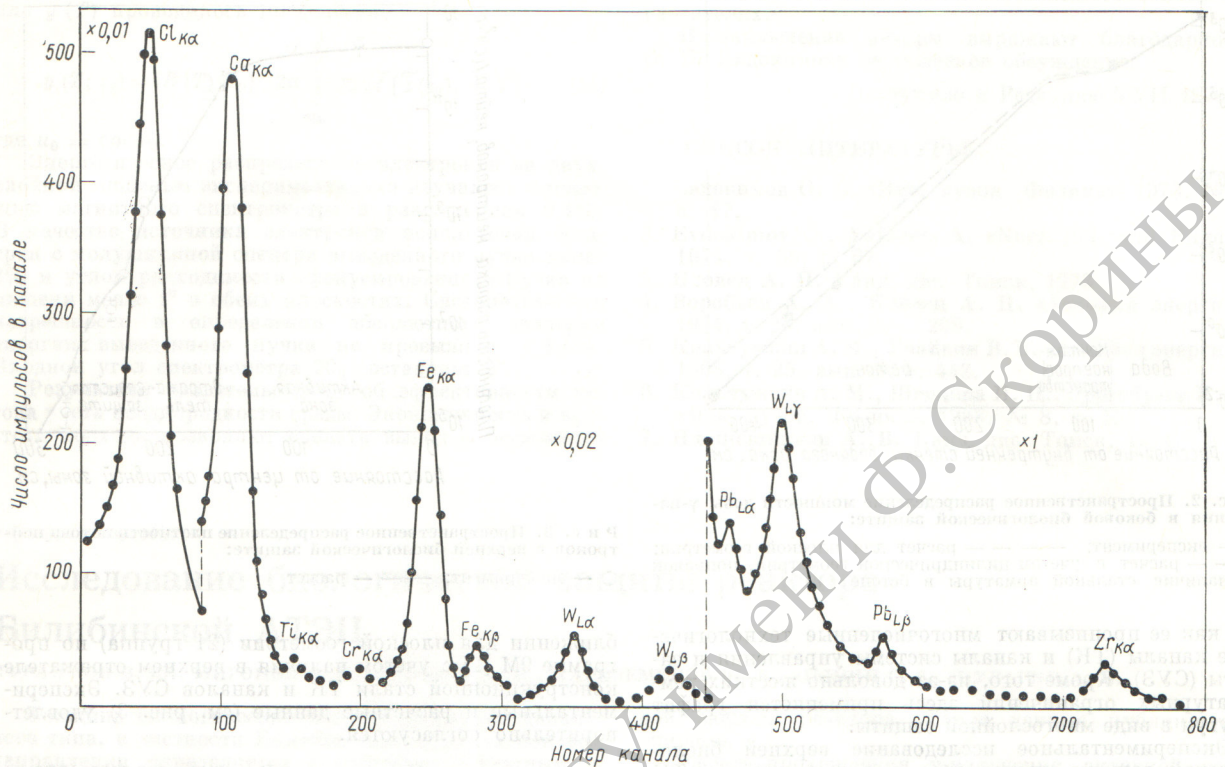
СТРАШИНСКИЙ А. Г., ХОМЯКОВ Г. К., СЕРЫХ Н. В., ОСТАПЕНКО И. Т., ТАРАСОВ Р. В.

При изготовлении изделий из тугоплавких соединений типа боридов, карбидов, нитридов и т. п. методом горячего прессования в графитовых пресс-формах часто используются твердые смазочные покрытия, в частности тугоплавкие окислы Al_2O_3 , VeO , ZrO_2 и др., измельченные порошки которых наносят из водной суспензии на стенки пресс-формы и припекают к графиту.

Степень чистоты твердых смазочных покрытий существенно влияет на их свойства. Кроме того, в процессе горячего прессования примесные элементы из покрытий неизбежно переходят в изделия и свойства изделий в некоторой степени будут зависеть от количества примесей, попадающих из смазочных покрытий. Поэтому

необходимо определять химический состав применяемых смазочных покрытий.

Для элементного анализа образцов твердых смазочных покрытий может быть использовано характеристическое рентгеновское излучение, возбуждаемое протонами [1]. В данном случае применялось облучение пучком протонов с энергией 2,5 МэВ в течение 10—30 мин при токе на образцы $\sim 10^{-8}$ А. Энергетическое разрешение спектрометра составляло 270 эВ по линии 6,4 кэВ. Методика эксперимента была изложена ранее [2—4]. Образцы смазок (табл. 1) имели вид пластин толщиной большей пробега протонов. В качестве связующего использовался поливиниловый спирт.



Спектр рентгеновского излучения от элементов, обнаруженных в аквадаге

При анализе полученных спектров учитывалась аппаратная форма линии. Зависимость ширины линии от энергии рентгеновских квантов не учитывалась. В области анализируемого пика проводилась линейная аппроксимация линии фона.

Величина полезного сигнала N_c в пике характеристического излучения является разностью двух величин

$$N_c = N_{c+\phi} - N_\phi,$$

где $N_{c+\phi}$ — полное число отсчетов в пике характеристического излучения; N_ϕ — число фоновых отсчетов под данным пиком.

Относительная погрешность отдельного измерения вычислялась по формуле

$$\varepsilon_c = \frac{\sqrt{N_{c+\phi} + N_\phi}}{N_{c+\phi} - N_\phi} \cdot 100\%.$$

При количественном определении примесей использовались эталонные спектры от меди, нанесенной испарением в вакууме на слюду [3]. В этом случае относительная погрешность составляла

$$\varepsilon_c = \sqrt{\varepsilon_{об}^2 + \varepsilon_{эт}^2} \cdot 100\%.$$

В табл. 2 приведены результаты одноразовых анализов пяти образцов твердых смазочных покрытий (доверительная вероятность 95%). Статистические погрешности и погрешности определения количества веще-

ства в эталоне вносят основной вклад в полную погрешность, особенно в тех случаях, если содержание примеси в образце находится на пределе чувствительности метода.

На рисунке показан спектр рентгеновского излучения от элементов, обнаруженных в аквадаге. Необходимо отметить, что в некоторых спектрах не удается выделить слабые линии, находящиеся в области сплошного тормозного фона и вблизи от интенсивных линий других элементов. Поэтому трудно что-либо сказать о присутствии титана и хрома в природном графите, так как их слабые линии перекрываются интенсивными пиками от кальция и железа. Кроме того, в природном графите, по-видимому, имеются следы молибдена (не более 10^{-5} мас.%), т. е. на пределе чувствительности метода. В таком же количестве в анализированном нитриде бора может присутствовать индий. Примесь гафния, всегда присутствующего в цирконии с содержанием

Исследованные материалы

Таблица 1

Наименование твердого смазочного покрытия	Марка, ГОСТ, ТУ
Al ₂ O ₃	МРТУ-6-09 № 2046-64 (чда)
ZrO ₂	ВТУ УХРП-16-59 (ч)
BN	СТУ 71-341-65
Природный графит	МРТУ-6-09-4004-67 (ч)
Аквадаг	В-0, ГОСТ 5245-50

Результаты анализа исследованных образцов

Таблица 2

Вещество	Содержание примеси, мас. %										
	Cl	K	Ca	Ti	Cr	Fe	Cu	Zr	Ta	W	Pb
Al ₂ O ₃	5,6 · 10 ⁻² ± ±5%	—	5,5 · 10 ⁻³ ± ±10,5%	1,9 · 10 ⁻¹ ± ±2,3%	—	3,2 · 10 ⁻² ± ±6,4%	—	3,8 · 10 ⁻² ± ±7%	—	—	—
ZrO ₂	—	2,3 · 10 ⁻¹ ± ±3,6%	3,5 · 10 ⁻¹ ± ±2,7%	—	—	7,7 · 10 ⁻² ± ±5%	—	—	1,4 · 10 ⁻² ± ±4%	—	—
BN	—	—	5,3 · 10 ⁻² ± ±2,3%	1,5 · 10 ⁻² ± ±6%	5,6 · 10 ⁻² ± ±4,2%	1,6 · 10 ⁻¹ ± ±3%	—	5,8 · 10 ⁻¹ ± ±8,3%	—	—	—
Графит природный	1,1 · 10 ⁻¹ ± ±2,7%	5,5 · 10 ⁻² ± ±2,2%	1,2 · 10 ⁻¹ ± ±2,5%	—	—	4,7 · 10 ⁻¹ ± ±2,7%	—	—	—	2,8 · 10 ⁻³ ± ±29%	6 · 10 ⁻⁴ ± ±40%
Аквадаг	4,8 · 10 ⁻¹ ± ±2,1%	—	9,5 · 10 ⁻² ± ±2%	2,3 · 10 ⁻³ ± ±17%	3,4 · 10 ⁻³ ± ±16%	2,4 · 10 ⁻¹ ± ±2,5%	2,8 · 10 ⁻³ ± ±28%	—	—	9,6 · 10 ⁻² ± ±5%	4,3 · 10 ⁻³ ± ±36%

10⁻²—10⁻³ мас.%, не могла быть обнаружена при анализе ZrO₂, содержащей много тантала. Разница между энергией L_α-линий тантала и гафния составляет 250 эВ, и поэтому не удалось выделить слабую линию гафния около интенсивной линии тантала.

Улучшение энергетического разрешения спектрометра до 150—200 эВ позволит повысить точность определения примесных элементов.

Поступило в Редакцию 11/VIII 1976 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Folkmann F. e.a. «Nucl. Instrum. and Methods», 1974, v. 119, p. 117.
2. Страшинский А. Г. и др. «Атомная энергия», 1974, т. 36, вып. 5, с. 401.
3. Страшинский А. Г. и др. «Атомная энергия», 1975, т. 39, вып. 4, с. 283.
4. Хомяков Г. К. и др. «Приборы и техника эксперимента», 1975, № 2, с. 139.

УДК 621.039.512.4

К методу определения нестационарной функции распределения частиц, замедляющихся в веществе

МЕДВЕДЕВ Ю. А., МЕТЕЛКИН Е. В.

В работе [1] предложен метод вычисления нестационарной функции распределения. В нем используется не сам энергетический спектр рассеянных при отдельном соударении частиц, теоретическая и экспериментальная информация о котором весьма ограничена, а лишь определенные измеренные энергетические моменты от этого спектра. Зависимость этих моментов от энергии в процессе решения не конкретизировалась, и окончательный результат справедлив для произвольного вида этой зависимости. Поэтому выражение для функции распределения из [1] может быть использовано для описания упругого замедления нейтронов с учетом теплового движения ядер среды и анизотропии в рассеянии, а также для описания замедления при наличии неупругих процессов. При этом должны выполняться условия [1]: $\Delta(E) \ll E$; $\gamma(E) \ll \nu(E)$, где $\Delta(E)$ — средний сброс энергии в результате отдельного соударения; $\gamma(E)$ — частота соударений, сопровождающихся поглощением; $\nu(E)$ — частота соударений замедляющихся частиц, которые сопровождаются рассеянием.

В работе [1] при вычислении функции распределения использовались лишь два независимых энергетических момента от спектра рассеянных при отдельном соударении частиц.

В настоящей работе проводится обобщение метода, изложенного в [1], позволяющее учесть влияние неза-

висимых энергетических моментов высшего порядка на функцию распределения замедляющихся частиц.

Процесс замедления частиц в однородной среде от импульсного, моноэнергетического, равномерно распределенного по пространству источника описывается кинетическим уравнением Больцмана [2]:

$$\partial f(E, t)/\partial t + [\nu(E) + \gamma(E)] f(E, t) = \int_0^\infty \nu(E') P(E' \rightarrow E) f(E', t) dE' + \delta(t) \delta(E - E^+). \quad (1)$$

Здесь $f(E, t) dE$ — число частиц с энергией E в интервале dE в момент времени t ; $P(E' \rightarrow E)$ — вероятность того, что замедляющаяся частица в результате соударения перейдет в единичный интервал энергии вблизи E ; E^+ — энергия частиц, испускаемых источником; $\delta(x)$ — Δ -функция Дирака.

При решении уравнения (1) используем следующие моменты от функции $P(E' \rightarrow E)$:

$$b_n^R(E') = \int_0^\infty [E' - \Delta(E') - E]^n P(E' \rightarrow E) dE, \quad (2)$$