

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Axton E. e.a. In: Proc. IAEA Symp. «Neutron Monitoring Radiat. Prot. Purpos». Vienna, 1972, v. 2, p. 431.
2. Robertson J. e.a. «J. Nucl. Energy», 1973, v. 27, p. 531.
3. Щеголев В. Т. и др. «Метрология», 1973, № 11, с. 65.
4. Андреев О. А. и др. В сб.: Труды метрологических институтов СССР. Вып. 145 (205). М., 1973, с. 33.

5. Константинов А. А., Кочин А. Е. В сб.: Труды институтов Комитета стандартов мер и измерительных приборов. Вып. 59 (129). М.—Л., Стандартгиз, 1962, с. 13.
6. Axton E. «J. Nucl. Energy (parts A/B)», 1963, v. 17, p. 125.
7. DeVolpi A., Porges K. (ANL) RPD-EPM, 1968, N 95.
8. Robertson J., Audric B., Kolkowski P. «J. Nucl. Energy», 1973, v. 27, p. 139.

УДК 539.1.074:519.83

Интервальная оценка поглощенной дозы с помощью метода линейного программирования

ВОЛКОВ Н. Г., ЛЯПИДЕВСКИЙ В. К., МАЛАХОВ Ю. И.

Большинство детекторов ядерных излучений, используемых в настоящее время в дозиметрии, обладают «ходом с жесткостью» [1]. Один из способов уменьшения хода с жесткостью заключается в одновременном использовании нескольких детекторов, имеющих различную спектральную чувствительность [2, 3]. При этом подбирается такая комбинация детекторов, чтобы линейная комбинация их спектральной чувствительности g_i

$$h(E) = \sum_{i=1}^n A_i g_i(E) \quad (1)$$

была постоянной, равной 1 для всего диапазона энергии излучения. Но реально осуществить такой подбор детекторов не удастся, поэтому возникает проблема неоднозначности получаемой оценки поглощенной дозы.

В работах [4, 5] предложен графический метод расчета интервала, содержащего оценку искомой величины для случая, когда измерение проводится при помощи двух детекторов. Так как не всегда использование двух детекторов достаточно для обеспечения требуемой точности определения искомой величины, необходимо провести эксперимент с большим числом детекторов.

К сожалению, в этом случае графические методы расчета слишком громоздки. Кроме того, они не позволяют корректно учесть статистические и систематические погрешности регистрируемых величин.

Цель настоящей работы — разработка и проверка алгоритма получения интервальной оценки с помощью метода линейного программирования на примере расчета поглощенной дозы γ -излучения в некоторых материалах известного состава.

Мощность поглощенной дозы γ -излучения в веществе определяется выражением

$$W^{\gamma} = \Phi_{\gamma} \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} \frac{\mu_a(E)}{\rho} E \varphi_{\gamma}(E) dE, \quad (2)$$

где Φ_{γ} — плотность потока γ -квантов, квант/см²·с; E — энергия γ -квантов, эВ/квант; φ_{γ} — нормированный на единицу дифференциальный энергетический спектр γ -квантов, квант/эВ; μ_a/ρ — полный массовый коэффициент поглощения энергии γ -излучений, см²/г.

Определение поглощенной дозы в исследуемом материале по известной поглощенной дозе в других материалах W_i^{γ} ($i = 1, 2, \dots$) рассматривалось в работах

[6—8]. Предлагаемые в них способы решения основаны на некоторых допущениях: использование средней энергии γ -квантов или эмпирической зависимости эффективных массовых коэффициентов поглощения энергии γ -излучения для исследуемого материала от величины отклонения эффективных массовых коэффициентов поглощения для некоторой выбранной пары тяжелых материалов.

Корректное решение рассматриваемой задачи заключается в отыскании интервала, гарантирующего содержание истинного значения искомой величины, с учетом погрешностей в определении W_i^{γ} ($i = 1, 2, \dots$).

Обычно считают, что погрешности W_i^{γ} ($i = 1, 2, \dots$) не превышают некоторой заданной положительной константы μ^2 , характеризующей степень надежности измерений. Погрешность принято оценивать по норме в той или иной методике. В нашей задаче целесообразно использовать равномерную метрику, которая наиболее надежно учитывает погрешности экспериментальных данных. Норма в такой метрике определяется выражением

$$\|x_i\|_{\Delta_i} = \max [x_i/\Delta_i], \quad (3)$$

где x_i — оцениваемые величины; Δ_i — погрешность в определении x_i .

В этом случае задачу можно сформулировать математически так:

$$W_{\min}^{\gamma} = \min \left\{ \Phi_{\gamma} \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} \frac{\mu_a(E)}{\rho} E \varphi_{\gamma}(E) dE \text{ при} \right. \quad (4)$$

$$\left. \|W_i^{\gamma} - \Phi_{\gamma} \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} \left[\frac{\mu_a(E)}{\rho} \right]_i E \varphi_{\gamma}(E) dE \|_{\Delta_i} \leq \mu^2 \right\},$$

$$\varphi_j(E) \geq 0;$$

$$W_{\max}^{\gamma} = \max \left\{ \Phi_{\gamma} \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} \frac{\mu_a(E)}{\rho} E \varphi_{\gamma}(E) dE \right. \quad (5)$$

Оценка поглощенной дозы
γ-излучения в материалах

Материал	Экспериментальные значения [6]	Материалы, данные для которых использованы в расчетах	Оценки границ интервала	
			нижняя граница	верхняя граница
Pb	1,71	C—Al	1,8	1,64
Zr	1,4	C—Al	3,77	1,4
C	1,43	Fe—Zr	1,66	0,99
Pb	1,71	C—Al—Fe	1,75	1,70
Zr	1,4	C—Al—Fe	1,9	1,4

$$\| W_i^y - \Phi_\gamma \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} \left[\frac{\mu_a(E)}{\rho} \right]_i E \Phi_\gamma(E) dE \|_{\Delta_i} \leq \mu \},$$

$$\Phi_j(E) \geq 0,$$

где $i = 1, 2, \dots$; W_{\min}^y и W_{\max}^y — соответственно минимальное и максимальное возможные значения W^y .

В работе [9] показано, что (4) и (5) — задачи линейного программирования, и приведены примеры решения таких задач.

Составлена программа, по которой проводился расчет поглощенной дозы для ряда материалов. Результаты расчетов приведены в таблице, в которой экспериментальные данные взяты из работы [10]. Расчеты проводились по экспериментально известным значениям поглощенной дозы для двух и трех выбранных материалов.

Расчетные значения показывают, что предлагаемый метод оценки поглощенной дозы дает удовлетворительные результаты (см. таблицу). При этом величина интервальной оценки уменьшается с ростом числа экспериментальных данных, используемых в расчетах.

УДК 539.125.52:621.039.51.12

К теории переноса тепловых нейтронов от импульсного источника в замедлителе с большой цилиндрической полостью

ДЖИЛКИБАЕВ Ж. М., КАЗАРНОВСКИЙ М. В.

Теоретическое рассмотрение нестационарного переноса тепловых нейтронов в блоке замедлителя с большой * полостью проводилось для сферически-симметричных [1, 2] и плоскосимметричных систем [3]. Однако для физики реакторов, а также для геофизических приложений представляет интерес решение аналогичной задачи для замедлителя с цилиндрической полостью.

* Характерные размеры данной полости на много больше длины транспортного пробега.

Как известно, один из способов улучшения точности определения поглощенной дозы заключается в экспериментальном исследовании спектрального состава излучения и расчете по нему интересующей нас величины. Однако измерение спектров, проводимое с помощью многоканальных спектрометров или пороговых индикаторов, во многих случаях — технически сложная процедура. На основе настоящей работы можно получить удовлетворительную точность определения поглощенной дозы более простым способом, проводя измерения сигналов от небольшого числа детекторов, выбранных с учетом их спектральных характеристик.

В алгоритм решения задачи (4), (5) легко может быть введена априорная информация о характере спектрального состава, что значительно уменьшит интервал для определяемой величины.

Авторы выражают глубокую признательность П. М. Рубцову за полезные дискуссии, которые помогли в создании настоящей работы.

Поступило в Редакцию 26/IV 1976 г.
В окончательной редакции 3/IX 1976 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов В. И. Курс дозиметрии. М., Атомиздат, 1970.
2. Mc Guire S. Rep. LA-3435, Los Alamos, 1965.
3. Nachtigall D., Rohloff F. «Nucl. Instrum. and Methods», 1967, N 50, p. 137.
4. Волков Н. Г., Ляпидевский В. К. «Приборы и техника эксперимента». 1968, № 5, с. 86.
5. Ryufuku H., Nakayama T. «J. Appl. Phys. Japan», 1969, v. 8, N 10, p. 1142.
6. Цоглин Ю. Л. Автореф. канд. дисс. Киев. ИЯИ АН УССР. 1975.
7. Ричардсон Д. М. Труды I Женевск. конф. Докл. сов. ученых. Т. 14. М., Госатомиздат, 1956, с. 265.
8. Dyne P., Thurston W. CRC-696, 1957.
9. Волков Н. Г., Ляпидевский В. К., Малахов Ю. И. «Приборы и техника эксперимента», 1976, № 6.
10. Андерсон А., Линакер Д. В сб.: Материалы симпозиума по отдельным вопросам дозиметрии. М., Госатомиздат, 1962, с. 192.

Настоящая работа посвящена рассмотрению этого вопроса. Ограничимся случаем слабопоглощающего замедлителя, что позволяет использовать подход, развитый в работе [2].

Пусть в слой замедлителя, расположенный между двумя бесконечно длинными коаксиальными цилиндрами с радиусами R и $R + H$, поступают нейтроны от импульсного источника, однородного относительно оси цилиндра. Тогда аналогично случаю сферической симметрии [2] можно ожидать, что спустя определенное время после выключения источника (в момент $t = 0$)