

ПРИЛОЖЕНИЯ ЯДЕРНЫХ МЕТОДОВ

УДК 539.172

К вопросу об определении количества ДВ  
в ТСМ 4 блока ЧАЭС активными нейтронными методами

С.Н.Олейник, В.Я.Головня, В.П.Божко

ИФВЭЯФ ННЦ ХФТИ, г. Харьков

● 1. ВВЕДЕНИЕ

В объекте Укрытие (ОУ) содержится значительное количество РАО, представляющих радиационную и ядерную опасность. Принципиальное решение этой проблемы видится в извлечении и контейнеризации РАО, в процессе которого необходимо осуществлять контроль делящихся веществ (ДВ). Наиболее целесообразным представляется использование для этих целей активных нейтронных методик. Применение существующих нейтронных методик осложняется спецификой топливо-содержащих материалов (ТСМ) ОУ [1]: разнообразные агрегатные состояния ТСМ (пемза, лаво-подобная керамика, обломки ТВЭЛ-ов и др.); наличие нейтронопоглощающих материалов и разнообразных наполнителей ( $A=9\dots 209$ ) и др. Для анализа возможности использования той или иной методики необходимо провести оценку поглощения потоков первичных нейтронов. Наиболее корректно такие расчеты осуществляются либо с привлечением громоздких аналитических выражений [2], либо применением метода Монте-Карло [3].

Целью данной работы является изложение подхода, упрощающего оценку поглощения нейтронов в ТСМ, и проведение таких оценок для конкретных материалов ОУ в диапазоне энергий первичных нейтронов от тепловых до быстрых.

● 2. МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД

В данном приближении предполагается только процесс поглощения первичных нейтронов в плоском образце гомогенно-распределенным поглотителем, приводящим к изменению интенсивности нейтронного потока от толщины  $h$ :  $n=n_0 \exp(-\lambda h)$ , где  $n_0$  – начальная интенсивность потока нейтронов ( $h=0$ ). Параметр

$$\lambda = N_n \sigma(E_n) = \rho C_n \sigma(E_n) A_0 / A, \quad (1)$$

где  $N_n$  – число ядер поглотителя на  $1 \text{ см}^2$ ,  $\sigma(E_n)$  – сечение поглощения нейтронов от их энергии,  $\rho$  ( $\text{г/см}^3$ ) – плотность вещества ТСМ,  $C_n$  – концентрация ядер поглотителя,  $A_0$  – число Авогадро,  $A$  – атомный

вес поглотителя. В качестве величины, характеризующей рабочую толщину образца, выбрана толщина, ослабляющая поток первичных нейтронов в два раза ( $n/n_0=0.5$ ):

$$H_{0.5} = \ln 2 / \lambda. \quad (2)$$

При наличии нескольких поглотителей параметр  $\lambda$  суммируется по всем парциальным поглотителям.

Изложенный подход применен для анализа поглощения нейтронов ( $H_{0.5}$ ) двумя характерными ТСМ, содержащимися в объекте Укрытие: а) ТСМ типа черная керамика:  $\rho=2.3 \text{ г/см}^3$ ; основные поглотители нейтронов –  $^{10}\text{B}$  (4.3%),  $^{238}\text{U}$  (7%) с обогащением  $^{235}\text{U}$  (1.5%); б) топливо  $\text{UO}_2$ :  $\rho=10 \text{ г/см}^3$ ; поглотители  $^{238}\text{U}$  (98%) и  $^{235}\text{U}$  (2%). Содержание компонентов дано в весовых процентах. Для материала черная керамика весь диапазон наполнителей заменен на естественный кремний [4].

Рис. 1. Зависимость парциальных величин  $H_{0.5}$  от сечения поглощения нейтронов.

На рис. 1 приведены зависимости парциальных величин  $H_{0.5}$  от величины сечения поглощения нейтронов, рассчитанные по (1) и (2); материалы типа а) обозначены как 'ТСМ', типа б) – как ' $\text{UO}_2$ ', с обозначением поглотителей, к которым относятся соответствующие кривые. С помощью этих кривых легко оценить вклад каждого поглотителя в ослабление нейтронного потока и, соответственно, оценить их влияние при сопоставлении с зависимостями сечений от энергии нейтронов.

● 3. АНАЛИЗ НЕЙТРОННЫХ СЕЧЕНИЙ

Для проведения оценок поглощения нейтронов использованы значения усредненных по энергетическим интервалам нейтронных сечений библиотеки нейтронных данных JENDL-3 [5]. На рис. 2 изображены зависимости полных нейтронных сечений для  $^{10}\text{B}$ ,  $^{235}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$  в области энергий нейтронов от тепловых до резонансных включительно. В области тепловых нейтронов главным поглотителем является  $^{10}\text{B}$  (на рис. 1 кривая ТСМ-B10, на рис. 2 кривая B10), а характерная толщина  $H_{0.5} \sim 1 \text{ мм}$ , что не

позволяет применить соответствующие нейтронные методики для контроля образцов больших размеров, несмотря на их высокую чувствительность.

**Рис. 2. Полные нейтронные сечения.**

Методики, основанные на регистрации резонансных нейтронов, могут применяться только для контроля ДВ в образцах объема  $\sim 10 \text{ см}^3$  [4], однако наличие  $^{10}\text{B}$  может внести существенные погрешности и для таких измерений.

Из рис. 1 и рис. 2 видно, что наиболее целесообразно применять источники нейтронов с  $E_n > 1000 \text{ эВ}$ , когда величина сечения поглощения  $\sigma \ll 100 \text{ барн}$ , а  $N_{0,5} \sim 10^0 \dots 10^2 \text{ см}$ .

В проведенном выше анализе в качестве сечений поглощения нейтронов использованы полные сечения. Однако, начиная с  $E_n \sim 10^2 \dots 10^3 \text{ эВ}$  значительный вклад в полное сечения для изотопов урана вносит сечение упругого рассеяния нейтронов. Для  $^{10}\text{B}$  вклад упругого рассеяния становится существенным для  $E_n > 10^4 \text{ эВ}$ , а для наполнителя  $\text{Si}$  сечение упругого рассеяния является доминирующим в диапазоне энергий нейтронов от тепловых до быстрых [5].

#### ●4. ОЦЕНКА ПОЛНОГО $N_{0,5}$

Для учета влияния процессов рассеяния нейтронов в величину  $N_{0,5}$  применен следующий подход. Расчет полного значения  $N_{0,5}$  проводится для двух случаев:

$$\sigma_{\text{abs}} = \sigma_{\text{tot}}; \quad (3)$$

$$\sigma_{\text{abs}} = \sigma_{\text{tot}} - \sigma_{\text{el}} - \sigma_{\text{inel}}; \quad (4)$$

где  $\sigma_{\text{abs}}$  – сечение поглощения, входящее в (1),  $\sigma_{\text{tot}}$  – полное сечение,  $\sigma_{\text{el}}, \sigma_{\text{inel}}$  – упругое и неупругое сечения рассеяния нейтронов соответственно.

Вычисления в приближении (3) дают нижний предел, а в приближении (4) верхний предел  $N_{0,5}$ .

На рис. 3 приведены расчетные значения полных величин  $N_{0,5}$  для черной керамики (ТСМ) и топлива ( $\text{UO}_2$ ); индексы: low – нижний предел, up – верхний предел. Приемлемый диапазон величин  $N_{0,5} \sim 10^0 \dots 10^2 \text{ см}$  может быть достигнут для первичных нейтронов  $E_n \sim 10^4 \dots 10^6 \text{ эВ}$ . Верхняя граница энергии нейтронного источника определяется порогом деления  $^{238}\text{U}$ ,  $E_{\text{th}} \sim 10^6 \text{ эВ}$ .

**Рис. 3. Энергетическая зависимость полного  $N_{0,5}$ .**

Такой же анализ можно провести и для вторичных нейтронов деления ( $^{235}\text{U}$  и  $^{239}\text{Pu}$ ), для оценки поглощения которых кривые на рис. 3 продлены до  $E_n = 10^7 \text{ эВ}$ .

#### ●5. ВЫВОДЫ

1) Проведен анализ поглощения первичных нейтронов в простом аналитическом подходе.

2) Рассчитаны нижний и верхний пределы полной величины  $N_{0,5}$  для двух типов ТСМ в диапазоне энергий нейтронов  $10^3 \dots 10^7 \text{ эВ}$ .

3) Оценено, что использование первичных нейтронов в интервале  $10^4 \dots 10^6 \text{ эВ}$  позволяет анализировать образцы толщиной  $\sim 10 \dots 50 \text{ см}$ .

#### ●Литература

1. Ключников А.А. Доклад на 2-й Межд. науч.-тех. конф., посвящ. 10-й годовщ. заверш. работ на ОУ. Чернобыль, 1996.
2. Л.Кертис. Введение в нейтронную физику. М.: Атомиздат, 1965.
3. Спанье Дж., Гелбард Э. М.-д. Монте-Карло и задача переноса нейтронов. М.: Атомиздат, 1972.
4. С.Т. Беляев и др. Пр-нт ИАЭ-5521.2, М., 1992.
5. Report JAERI-M 90-099, (Eds.) T Nakagawa et. al., July 1990.

Статья поступила: в редакцию 25 мая 1998 г.,  
в издательство 1 июня 1998 г.