

УДК 621.039.524.4

Экспериментальное определение изотопных корреляций для топлива реакторов ВВЭР

НОВИКОВ Ю. Б., ГАБЕСКИРИЯ В. Я., МАСЛЕННИКОВА М. Н.

В настоящее время широкое практическое применение находит метод изотопных корреляций [1], использование которого основано на тесной корреляционной зависимости между изотопами облученного топлива, выгоранием и содержанием плутония в отработавших твэлах.

Для реакторов ВВЭР-240 и ВВЭР-365 Нововоронежской АЭС экспериментально установлены корреляционные зависимости между содержанием различных изотопов урана, плутония, трансплутониевых элементов и продуктов деления в отработавшем топливе. Зависимости определены на основании данных масс-спектрометрических измерений, выполненных для образцов топлива с глубиной выгорания от 9 до 30 кг/т U.

При определении параметров корреляционных зависимостей применен конъюнктный анализ, учитывающий погрешности измерения всех переменных. При установлении изотопных корреляций функция регрессии $y = f(x)$ представлялась разложением по степеням x :

$$y = a + bx + cx + \dots + gx^{m-1}.$$

Коэффициенты a, b, c определялись в результате разложения по ортогональным полиномам, а число полиномов m — из условия, что коэффициент $m + 1$ поли-

нома превышает свою погрешность [2]. Параметры функции регрессии характеризовались средней квадратической погрешностью и коэффициентами корреляции.

Показано, что изотопные корреляционные зависимости для топлива реакторов ВВЭР-240 и ВВЭР-365 имеют вид гладких кривых и описываются простыми функциями в широком диапазоне выгораний. Это дает возможность применять изотопные корреляции для решения ряда практических задач, основной среди которых является получение сведений о содержании плутония в отработавшем топливе.

(№ 930/8950. Статья поступила в Редакцию 20/IX 1976 г., в окончательной редакции 7/II 1977 г., аннотация — 4/V 1977 г. Полный текст 0,5 а. л., рис. 7, табл. 2, список литературы 2 наименования).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Proc. IAEA Symp. «Safeguards Techniques». Karlsruhe, 6—10 July 1970.
2. Клешиков Н. П., Соколов С. Н. Анализ и планирование экспериментов методом максимума правдоподобия. М., «Наука», 1964.

УДК 621.039.538.7

Защитные характеристики бетонов на основе полимеров в полях нейтронного излучения

БЕЛЯКОВ В. В., ГРИГОРЬЕВ В. А., КОЗЛОВ В. В., ЛАВДАНСКИЙ П. А., НАЗАРОВ В. М., РЕМЕЙКО О. А.

В работе приводятся результаты экспериментальных и расчетных исследований защитных характеристик бетонов на основе полимеров в полях нейтронного излучения реакторного спектра. Эксперименты проводили на пучках реактора ИБР-30. Исследовали фурфурол-ацетонный полимербетон и полимерцементные бетоны с частичным использованием в качестве заполнителя гранулированного полиэтилена.

Физико-механические испытания и технико-экономический анализ показали определенную эффективность введения в полимерцементные бетоны полиэтиленового заполнителя до 300 кг/м³ [1].

Отличительной особенностью экспериментов на ИБР-30 являлось выделение различных энергетических групп нейтронов и мощности дозы γ -излучения. Сборки размером $1,0 \times 1,0 \times 1,2$ м выкладывались из блоков исследуемых составов. Измерения проводили по оси мононаправленного пучка и перпендикулярно оси на определенном расстоянии от нее. Получены следующие защитные характеристики: длина релаксации потоков быстрых нейтронов с $E > 0,5$ МэВ, длина

релаксации мощности дозы γ -излучения по видам γ -квантов и суммарной, численные факторы накопления промежуточных и тепловых нейтронов.

Установлена закономерность уменьшения факторов накопления с ростом водородсодержания бетонов. Введение в бетоны полиэтилена (100 кг/м³) позволяет уменьшить толщину защиты на 25—30%, при этом величина суммарной мощности дозы γ -излучения за защитой практически не изменяется.

Результаты экспериментов удовлетворительно совпадают с расчетными данными. Это позволило в дальнейшем провести массовые расчеты (с использованием программ расчета одномерной защиты «9М-26» и «РОЗ») примерно по 30 составам бетонов на минеральных и полимерных составляющих с водородсодержанием композиций до 60 кг/м³ [2]. Подтверждено, что наиболее ответственным химическим элементом за изменение сечения выведения (Σ_{rem}) бетонов с объемной массой до 2400 кг/м³ по сравнению с другими элементами является водород. Для бетонов с объемной массой 2000—2400 кг/м³ и водородсодержанием от 6 до 60 кг/м³

установлены эмпирические соотношения:

$$\lambda_{\text{бн}}(E > 1,5 \text{ МэВ}) = \exp(2560 - 0,0046n_i), \text{ см};$$

$$B_{\text{пн}}(E < 0,4 \text{ МэВ}) = \exp(1,383 - 0,0220n_i);$$

$$B_{\text{пн}}(E < 1,4 \text{ МэВ}) = \exp(2,181 - 0,0258n_i),$$

где $\lambda_{\text{бн}}$ — длина релаксации потоков быстрых нейтронов; $B_{\text{пн}}$ — фактор накопления промежуточных нейтронов на толщине защиты, равной ~ 75 см, т. е. в зоне установившегося равновесного спектра; n_i — водород-содержание бетона, кг/м³.

Приведенные зависимости можно использовать в практических расчетах защиты от излучений реакторного спектра.

УДК 621.039.512.23

Средние сечения реакций в спектре деления ²³⁵U

ГРИГОРЬЕВ Е. И., ЯРЫНА В. П.

Для установления средних сечений реакций в спектре нейтронов деления ²³⁵U применяют следующие способы: абсолютные и относительные измерения и расчетный метод.

Первый метод предполагает достоверное воспроизведение спектра деления во всем диапазоне энергии в единицах плотности потока нейтронов и определение скорости рассматриваемой реакции в таком поле. Второй основан на измерении отношения скорости рассматриваемой реакции и некоторой опорной (с извест-

Оцененные значения средних сечений пороговых реакций

Реакция	Среднее сечение, мб	Погрешность, %
²³⁷ Np(<i>n</i> , <i>f</i>)	1290	8
¹¹⁵ In(<i>n</i> , <i>n'</i>) ^{115m} In	181	5
²³⁸ U(<i>n</i> , <i>f</i>)	315	7
⁵⁸ Ni(<i>n</i> , <i>p</i>) ⁵⁸ Co	107	4
³¹ P(<i>n</i> , <i>p</i>) ³¹ Si	35,2	5
³² S(<i>n</i> , <i>p</i>) ³² P	68,2	5
⁶⁴ Zn(<i>n</i> , <i>p</i>) ⁶⁴ Cu	31	7
⁵⁴ Fe(<i>n</i> , <i>p</i>) ⁵⁴ Mn	78,2	5
³⁵ Cl(<i>n</i> , α) ³² P	12,8	15
²⁸ Si(<i>n</i> , <i>p</i>) ²⁸ Al	5,3	15
²⁷ Al(<i>n</i> , <i>p</i>) ²⁷ Mg	3,85	7
⁵⁶ Fe(<i>n</i> , <i>p</i>) ⁵⁶ Mn	1,06	3
²⁴ Mg(<i>n</i> , <i>p</i>) ²⁴ Na	1,49	5
²⁷ Al(<i>n</i> , α) ²⁴ Na	0,70	3
¹²⁷ I(<i>n</i> , 2 <i>p</i>) ¹²⁶ I	1,03	8
⁶³ Cu(<i>n</i> , 2 <i>n</i>) ⁶² Cu	0,116	7
⁵⁵ Mn(<i>n</i> , 2 <i>n</i>) ⁵⁴ Mn	0,241	6
¹⁹ F(<i>n</i> , 2 <i>n</i>) ¹⁸ F	0,00191	10

Бетоны на основе полимеров целесообразно использовать в качестве материалов защиты от нейтронов с $E < 10$ МэВ, особенно при жестких весогабаритных требованиях к защите.

(№ 932/9047. Статья поступила в Редакцию 6/XII 1976 г. Полный текст 0,5 а. л., рис. 3, табл. 4, список литературы 12 наименований).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ремейко О. А., Землянушов Ю. А., Козлов В. В. В сб.: Вопросы атомной науки и техники. Сер. Строительство. М., изд. ЦНИИатоминформ, 1976, с. 16.
2. Лавданский П. А., Ремейко О. А. В сб.: Материалы и конструкции защит ядерных установок. М., изд. МИСИ им. Куйбышева, 1974, с. 22.

ным сечением) в нейтронном поле, воспроизводящем спектр деления. В расчетном методе среднее сечение вычисляют по известной дифференциальной зависимости сечения реакции от энергии и дифференциальному спектру нейтронов.

В настоящей работе для оценки сечений применяют анализ экспериментальных данных по средним сечениям (скоростям) пороговых реакций и их отношениям к сечениям реакций ⁵⁶Fe(*n*, *p*)⁵⁶Mn и ²⁷Al(*n*, α)²⁴Na, принятых за стандарты. При этом использовали как опубликованные данные [1], так и результаты собственных измерений [2].

Сечение реакций на железе $\sigma_{\text{Fe}}^{\text{ст}}$ установили из расчетных и наиболее точных результатов абсолютных измерений. Сечение реакции на алюминии приняли в качестве вторичного стандарта и установили его относительно $\sigma_{\text{Fe}}^{\text{ст}}$, используя экспериментальную информацию относительных измерений и наиболее точные данные абсолютных измерений.

Оцененные средние сечения были использованы при создании библиотеки групповых сечений пороговых реакций (БГС-1).

(№ 933/9217. Статья поступила в Редакцию 6/IV 1977 г., аннотация — 22/VI 1977 г. Полный текст 0,2 а. л., табл. 1, список литературы 2 наименования).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Calamand A. INDC(NDC)-55L, IAEA, Vienna, 1973.
2. Vasilyev R. In: Proc. I ASTM-EURATOM Symp. on Reactor Dosimetry. Petten, Netherland, 22—26 Sept. 1975.
3. Метрология нейтронных измерений на ядерно-физических установках. М., изд. ЦНИИатоминформ, 1976.