

УДК 621.039.548

Погрешность вычисления состава при неразрушающем анализе ядерного топлива

ШЕРЕМЕТЬЕВ А. К.

Основная задача неразрушающего анализа выгруженного из реактора ядерного топлива — определение содержания ^{235}U и ^{239}Pu . Для определения состава вещества, содержащего два компонента, необходимо использовать два измерительных канала, чувствительных только к этим компонентам. Содержание компонентов определяют с помощью двух уравнений с двумя неизвестными:

$$n_1 = am_5 + bm_9; \quad (1)$$

$$n_2 = cm_5 + dm_9, \quad (2)$$

где n_1 и n_2 — результаты измерений; a, b, c и d — коэффициенты, определяемые при калибровке аппаратуры; m_5 и m_9 — содержание компонентов.

Обычно погрешность определения коэффициентов уравнений меньше погрешности измерений. Тогда для компонента m_5 получаем:

$$m_5 = \frac{dn_1 - bn_2}{ad - bc}.$$

В этом случае погрешность определения содержания ^{235}U составит:

$$\frac{\Delta m_5}{m_5} = \frac{\sqrt{d^2 \Delta n_1^2 + b^2 \Delta n_2^2}}{dn_1 - bn_2}.$$

Если принять, что

$$\frac{\Delta n_1}{n_1} = \frac{\Delta n_2}{n_2} = \frac{\Delta n}{n},$$

то

$$\frac{\Delta m_5}{m_5} = \frac{\Delta n}{n} \frac{\sqrt{d^2 n_1^2 + b^2 n_2^2}}{dn_1 - bn_2} = \frac{\Delta n}{n} k_5,$$

где k_5 характеризует погрешность вычисления состава в принятом способе анализа.

Используя выражения (1) и (2), находим

$$k_5 = \frac{\sqrt{(D+B_5)^2 + (B_5+1)^2}}{D-1}. \quad (3)$$

В этом выражении $D = ad/bc$ — известная величина дискриминационного отношения, характеризующая селективность измерительных каналов по отношению к компонентам [1]. Уравнения (1) и (2) располагают в таком порядке, чтобы D было больше единицы; $B_5 = dm_9/cm_5$ — отношение членов уравнения (2). Для ^{239}Pu эта величина равна $B_9 = am_5/bm_9$.

Выражение (3) позволяет оценить возможности метода анализа. Например, при определении выгорания

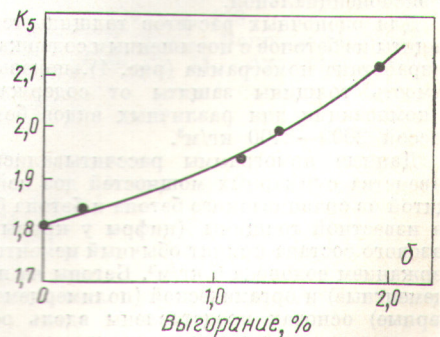
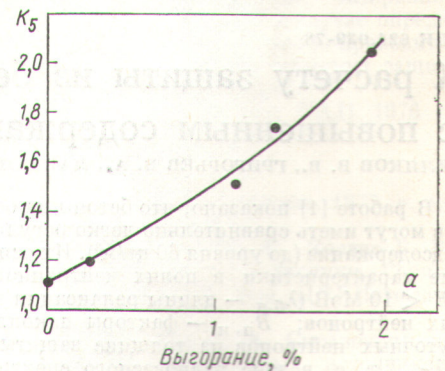
^{235}U по γ -излучению продуктов деления [2] получаем следующие уравнения:

$$n_1 = 6,3m_5 + 6,5m_9;$$

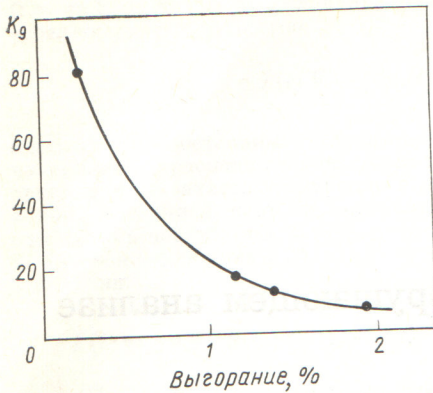
$$n_2 = 0,4m_5 + 4,3m_9,$$

где коэффициенты уравнений представляют собой выход ^{137}Cs и ^{106}Ru при делении ^{235}U и ^{239}Pu тепловыми нейтронами [3]. Используя данные по выгоранию ^{235}U и ^{239}Pu [4], можно получить зависимость погрешности вычисления от выгорания топлива (рис. 1). При малом выгорании погрешность вычисления выгорания ^{235}U стремится к значению $k_5 = \sqrt{D^2 + 1/D} - 1$.

С ростом выгорания погрешность вычисления выгорания ^{235}U увеличивается. При выгорании 20 кг на тон-



Р и с. 1. Погрешность вычисления содержания ^{235}U при анализе по γ -излучению (а) и по запаздывающим нейтронам (б)



Р и с. 2. Погрешность вычисления содержания ^{239}Pu при анализе по запаздывающим нейтронам

ну топлива и погрешности измерения продуктов деления, равной 8% [2], погрешность определения выгоревшего ^{235}U составит около 16%.

Для метода анализа, основанного на различии энергетической зависимости сечения деления нейтронами и выхода запаздывающих нейтронов [1], коэффициенты уравнений (1) и (2)

$$n_1 = 4,8m_5 + 1,1m_9;$$

$$n_2 = 1,8m_5 + 1,0m_9$$

УДК 621.039-78

К расчету защиты из бетонов с повышенным содержанием водорода

БЕЛЯКОВ В. В., ГРИГОРЬЕВ В. А., ЛАВДАНСКИЙ П. А., РЕМЕЙКО О. А., ХОХЛОВ В. Ф.

В работе [1] показано, что бетоны на основе полимеров могут иметь сравнительно легко регулируемое водородсодержание (до уровня 60 кг/м^3). Их основные защитные характеристики в полях нейтронного излучения с $E < 10 \text{ МэВ}$ ($\lambda_{б.н}$ — длины релаксации потоков быстрых нейтронов; $B_{п.н}$ — факторы накопления промежуточных нейтронов на толщине защиты, равной $3-4 \lambda_{б.н}$, т. е. в зоне равновесного спектра) находятся в зависимости от содержания водорода в бетоне, близкой к экспоненциальной.

Для оценочных расчетов толщины технологической защиты из бетонов с повышенным содержанием водорода разработана номограмма (рис. 1), показывающая зависимость толщины защиты от содержания водорода в композиции для различных видов бетона объемной массой 2000—2400 кг/м^3 .

Данные номограммы рассчитывались из условия равенства суммарных мощностей доз нейтронов за защитой из сравниваемого бетона и бетона базового состава известной толщины (цифры у кривых). В качестве базового состава принят обычный цементный бетон с содержанием водорода 6 кг/м^3 . Бетоны на неорганической (цементные) и органической (полимерцементные и полимерные) основах представлены вдоль оси абсцисс по нарастанию содержания водорода, причем для полимерцементных бетонов с повышенным содержанием водо-

являются произведениями сечения деления ^{235}U и ^{239}Pu нейтронами с энергией 10 и 800 кэВ [5] на выход запаздывающих нейтронов [6].

На рис. 1, б и 2 приведены погрешности вычисления для ^{235}U и ^{239}Pu , полученные на основании данных о содержании урана и плутония в топливе [4] при различных выгораниях. Погрешность вычисления для ^{239}Pu велика вследствие малого его содержания и меньшей чувствительности измерительных каналов к ^{239}Pu .

Таким образом, используя полученное выражение для погрешности вычисления, можно оценить принципиальные возможности метода анализа.

В заключение автор приносит благодарность А. М. Калашникову и Б. А. Бибичеву за полезное обсуждение.

Поступило в Редакцию 4/Х 1976 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Menlove H. e.a. «Nucl. Technology», 1974, v. 10, N 3, p. 336.
2. Graber H. e.a. «Kernenergie», 1974, N 3, p. 73.
3. Crouch E. «Nucl. Data in Science and Technology», IAEA, Vienna, 1973, v. 1, p. 393.
4. Габескирия В. Я. и др. «Атомная энергия», 1973, т. 34, вып. 3, с. 159.
5. Byer T. «Atomic Energy Rev.», IAEA, Vienna, 1972, v. 10, N 4, p. 529.
6. Manero F., Konshin V. «Atomic Energy Rev.», IAEA, Vienna, 1972, v. 10, N 4, p. 637.

рода указано количество вводимого в состав гранулированного полиэтилена [2]. Кривые устанавливают относительную толщину защиты из исследуемого бетона в сравнении с толщиной бетона базового состава.

Анализ номограммы показывает, что применение бетонов на основе полимеров позволяет уменьшить толщину защитных экранов из обычного бетона на 30—40%; по мере увеличения толщины защиты из бетона базового состава эффективность использования бетонов с повышенным содержанием водорода снижается; наиболее существенного уменьшения размеров защиты можно достичь при толщине 75—150 см; повышение содержания водорода в композиции свыше 50 кг/м^3 нецелесообразно.

Принцип разработки такой номограммы приемлем и для бетонов с объемной массой более 2400 кг/м^3 , в расчетах при условиях равенства потоков за защитой, а также при расчетах биологических защит (с учетом вклада в суммарную мощность дозы за защитой захватного γ -излучения). Для разработки номограмм используются следующие зависимости:

при условии равенства суммарных мощностей доз нейтронов за защитой

$$T_{\text{и}} = \frac{\lambda_{\text{и}}}{\lambda_{\text{о}}} T_{\text{о}} + \lambda_{\text{и}} \frac{K_{\text{б}} + K_{\text{п}} \cdot B_{\text{п.п.и}}}{K_{\text{б}} + K_{\text{п}} \cdot B_{\text{п.п.о}}}; \quad (1)$$