

удельной активности в организме [4]. В полевых условиях и при активности изотопа выше 100 *нКи* достаточно иметь простейший гамма-радиометр без защиты из серийной аппаратуры (СГ-42 «Кристалл» и др.).

При низкой активности и в отсутствие прецизионных счетчиков индивидуальное измерение с ошибкой не более чем в два раза может быть выполнено по анализу выделений. Коэффициенты перехода от выделений к организму получены на 142 наблюдаемых объектах [5].

Поступило в Редакцию 25/VII 1968 г.

К расчету двумерных реакторов методом многогрупповых собственных функций

Б. И. КОЛОСОВ, Ш. С. НИКОЛАЙШВИЛИ

В настоящей работе для расчета двумерных ядерных реакторов предлагается метод многогрупповых собственных функций [1, 2]. Этот метод заключается в следующем.

Пусть в прямоугольной области G ($0 < x < a$, $0 < y < b$) требуется решить уравнение реактора

$$-\frac{\partial}{\partial y} D^{(j)} \frac{\partial}{\partial y} \varphi^{(j)} - \frac{\partial}{\partial x} D^{(j)} \frac{\partial}{\partial x} \varphi^{(j)} + \Sigma^{(j)} \varphi^{(j)} = \sum_{l=1}^{j-1} \Sigma_{\bullet}^{l \rightarrow j} \varphi^{(l)} + \frac{\chi^{(j)}}{\lambda} \sum_{i=1}^g v \Sigma_f^{(i)} \varphi^{(i)} \quad (1)$$

при краевых условиях

$$A_0^{(j)} \varphi^{(j)} - B_0^{(j)} \frac{\partial \varphi^{(j)}}{\partial x} \Big|_{x=0} = A^{(j)} \varphi^{(j)} + B^{(j)} \frac{\partial \varphi^{(j)}}{\partial x} \Big|_{x=a} = 0, \quad (2a)$$

$$\alpha_0^{(j)} \varphi^{(j)} - \beta_0^{(j)} \frac{\partial \varphi^{(j)}}{\partial y} \Big|_{y=0} = \alpha^{(j)} \varphi^{(j)} + \beta^{(j)} \frac{\partial \varphi^{(j)}}{\partial y} \Big|_{y=b} = 0 \quad (2b)$$

и условиях на границах раздела сред

$$\varphi_{-}^{(j)} = \varphi_{+}^{(j)}, \quad \left(D^{(j)} \frac{\partial \varphi^{(j)}}{\partial n} \right)_{-} = \left(D^{(j)} \frac{\partial \varphi^{(j)}}{\partial n} \right)_{+}, \quad j = 1, 2, \dots, g. \quad (3)$$

Здесь n — единичная нормаль к поверхности раздела зон. Физическое содержание остальных обозначений в уравнениях (1)–(3) и ограничения, налагаемые на коэффициенты уравнений $D^{(j)}$, $\Sigma^{(j)}$, $\Sigma_{\bullet}^{l \rightarrow j}$, $v \Sigma_f^{(i)}$, $\chi^{(j)}$, $\alpha_0^{(j)}$, $\alpha^{(j)}$, $A_0^{(j)}$, $A^{(j)}$, $\beta_0^{(j)}$, $\beta^{(j)}$, $B_0^{(j)}$ и $B^{(j)}$, приведены в работах [1–3].

Предполагается, что область G состоит из прямоугольных подобластей, внутри которых коэффициенты уравнения (1) сохраняют постоянные значения. Выделим в области G подобласть $G^{(p)}$ ($0 < x < a$, $b_{p-1} < y < b_p$), так, чтобы внутри нее коэффициенты уравнения (1) не зависели от координаты y (индекс p

ЛИТЕРАТУРА

1. П. В. Рамзаев и др. Основные итоги радиационно-гигиенических исследований в приарктических районах СССР в 1959–1966 гг. М., Атомиздат, 1967.
2. H. Gale. Nature, № 4916, 257, 1964.
3. G. Rivera. Radiological Health Data, 5, No. 10 (1964).
4. Д. К. Попов и др. «Мед. радиол.» № 2, 27 (1967).
5. П. В. Рамзаев и др. Статистические параметры обмена цезия-137 глобального происхождения у жителей арктических районов. М., Атомиздат, 1967.

УДК 621.039.51.134

означает номер зоны в направлении переменной y), и рассмотрим уравнение реактора для потока нейтронов и ценности нейтронов деления:

$$-\frac{d}{dx} D^{(j)} \frac{d}{dx} X^{(j)} + \Sigma^{(j)} X^{(j)} = \sum_{l=1}^{j-1} \Sigma_{\bullet}^{l \rightarrow j} X^{(l)} + \frac{\chi^{(j)}}{\mu} \sum_{i=1}^g v \Sigma_f^{(i)} X^{(i)}, \quad y \in (b_{p-1}, b_p); \quad (4)$$

$$-\frac{d}{dx} D^{(j)} \frac{d}{dx} X_{*}^{(j)} + \Sigma^{(j)} X_{*}^{(j)} = \sum_{l=g}^{j-1} \Sigma_{\bullet}^{l \rightarrow j} X_{*}^{(l)} + \frac{v \Sigma_f^{(j)}}{\mu} \sum_{i=1}^g \chi^{(i)} X_{*}^{(i)}, \quad y \in (b_{p-1}, b_p). \quad (5)$$

Задача состоит в отыскании N первых (расположенных в порядке убывания по абсолютной величине) собственных значений μ и соответствующих им собственных функций уравнений (4) и (5), удовлетворяющих краевым условиям (2a) и дополнительным условиям (3), где функции $\varphi^{(j)}$ следует заменить функциями $X^{(j)}(x)$ и $X_{*}^{(j)}(x)$, $1 \leq j \leq g$. Алгоритм решения частичной проблемы спектра собственных значений и собственных функций одномерного ядерного реактора, описываемого уравнениями (4) и (5), дан в работе [2].

Собственные функции $X^{(j)}(x)$ и $X_{*}^{(j)}(x)$ составляют биортонормированную систему функций, удовлетворяющих соотношениям

$$\int_0^a \sum_{j=1}^g \chi^{(j)} X_{*m}^{(j)}(x) \sum_{i=1}^g v \Sigma_f^{(i)} X_k^{(i)}(x) dx = \delta_{mk}, \quad (6)$$

где m и k — номера собственных функций; δ_{mk} — дельта-символ Кронекера.

Представим решение (1) в каждой подобласти $G^{(p)}$ в виде

$$\varphi^{(j)}(x, y) = \sum_{k=1}^{\infty} Y_k(y) X_k^{(j)}(x); \quad j = 1, 2, \dots, g; \quad y \in (b_{p-1}, b_p). \quad (7)$$

Заметим, что уравнения (4) и (5) справедливы только в подобластях с источниками деления. Поэтому для определения $X^{(j)}$ и $X_*^{(j)}$ в отражателях необходимо ввести фиктивные источники деления нейтронов, приняв их, к примеру, равными источникам деления ближайшей активной зоны. Расчеты с различными отражателями показали, что варьирование свойств деления, приписываемых отражателям, не оказывает заметного влияния на окончательный результат решения уравнения (1). В дальнейшем будем предполагать, что системы собственных функций $X_k^{(j)} (k = 1, 2, \dots)$ являются полными.

Подставим ряд (7) в уравнение (1) и проинтегрируем результат по x с весом $X_{*m}^{(f)}(x)$. Тогда, суммируя по $j = 1, 2, \dots, g$, с учетом уравнений (4) и (5) и соотношений (6) получим

$$\sum_{k=1}^{\infty} \left\{ -\frac{d}{dy} H_{mk} \frac{d}{dy} Y_k + \frac{1}{\mu_k} \delta_{mk} Y_k \right\} = \frac{\omega}{\lambda} \sum_{k=1}^{\infty} \delta_{mk} Y_k, \quad y \in (b_{p-1}, b_p), \quad (8)$$

где $\omega = 1$ в активной зоне и $\omega = 0$ в отражателях;

$$H_{mk}(y) = \sum_{j=1}^g \int_0^a D^{(j)} X_{*m}^{(j)}(x) X_k^{(j)}(x) dx. \quad (9)$$

Так как коэффициенты ряда (7) не зависят от индекса энергетической группы нейтронов j , условия на границах раздела зон следует брать в симметризованном виде:

$$\sum_{k=1}^{\infty} \sum_{j=1}^g \int_0^a \left\{ (f_{mk}^{(j)})_- + (F_{mk}^{(j)})_+ \right\} dx (Y_k)_- = \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{j=1}^g \int_0^a \left\{ (f_{mk}^{(j)})_+ + (F_{mk}^{(j)})_- \right\} dx (Y_k)_+; \quad (10)$$

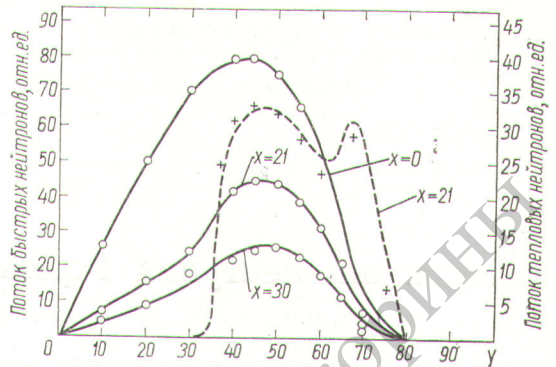
$$\sum_{k=1}^{\infty} \sum_{j=1}^g \int_0^a \left\{ (f_{mk}^{(j)})_- + \left(\frac{D_-}{D_+} \right)^{(j)} (F_{mk}^{(j)})_+ \right\} dy \left(\frac{dY_k}{dy} \right)_- = \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{j=1}^g \int_0^a \left\{ (f_{mk}^{(j)})_+ + \left(\frac{D_+}{D_-} \right)^{(j)} (F_{mk}^{(j)})_- \right\} dx \left(\frac{dY_k}{dy} \right)_+; \quad (11)$$

$$f_{mk}^{(j)} = X_{*m}^{(j)} X_k^{(j)}; (F_{mk}^{(j)})_+ = (X_{*m}^{(j)})_+ (X_k^{(j)});$$

$$(F_{mk}^{(j)})_- = [(X_{*m}^{(j)})_- (X_k^{(j)})]. \quad (12)$$

Если в ряде (7) все коэффициенты $Y_k(y)$, начиная с некоторого $k = N + 1$, принять равными нулю, то задача сведется к решению конечной системы уравнений (8) при дополнительных условиях (10) и (11) и краевых условиях (2б), предварительно проинтегрированных по переменной x с весом $X_{*m}^{(j)}(x)$ и просуммированных по $j = 1, 2, \dots, g$.

Описанный алгоритм решения уравнения (1) был записан на языке АЛГОЛ-60, по которому транслято-



Распределение потоков быстрых (—) и тепловых (---) нейтронов по переменной g в различных сечениях x плоского реактора. Точками и крестиками обозначены значения потоков, полученные предлагаемым методом.

ром ТА-2 составлена рабочая программа для электронно-вычислительной машины М-20. Характеристики этой программы: число энергетических групп не более трех, число собственных функций не более пяти, число зон по каждой переменной не более девяти, число узлов разностной сетки по каждому измерению не более восьмидесяти.

Сравнительные результаты расчетов λ уравнения (1)

Метод расчета	λ [4]	λ_2
Конечно-разностный	1,0171	—
Вариационный	1,0152	—
Метод Галеркина	1,0156	—
Метод собственных функций	—	1,0157

В качестве численного примера рассмотрен в двухгрупповом диффузионном приближении плоский реактор с нижним торцовым отражателем и частично погруженной поглощающей пластиной [4]. В таблице содержатся сравнительные результаты расчетов наибольшего собственного числа λ уравнения (1). Здесь $\lambda_{[4]}$ — собственное число, рассчитанное разными методами в работе [4]; $\lambda_{(2)}$ — собственное число, полученное при сохранении двух членов в представлении решения рядом (7). При этом в качестве одномерных реакторов, для каждого из которых решались системы уравнений (4) и (5), были рассмотрены: 1) активная зона с поглощающей пластиной; 2) активная зона; 3) отражатель, которому фиктивно приписаны свойства деления активной зоны.

На рисунке приведено распределение потоков быстрых и тепловых нейтронов как функция координаты y в различных сечениях плоского реактора по переменной x (см. также рис. 2, 5 и 6 в работе [4]).

Данные рисунка и таблицы указывают на хорошее согласие с точным расчетом как интегральных, так и дифференциальных характеристик решения уравнения (1), полученных методом многогрупповых собственных функций.

В заключение авторы выражают признательность Н. И. Акимову и В. П. Поливанскому за помощь в работе, а также Ю. И. Орехову за полезные советы.

Поступило в Редакцию 11/III 1968 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ж. Н. Бельская и др. «Атомная энергия», 23, 138 (1967).

2. Б. И. Колосов. Метод последовательных приближений применительно к решению частичной проблемы спектра ядерного реактора. Препринт ФЭИ-118. Обнинск, 1968.
3. Г. И. Марчук. Методы расчета ядерных реакторов. М., Госатомиздат, 1961.
4. S. Kaplan Nucl. Sci. and Engng, 13, 22 (1962).

Экстракция непутия 1-фенил-3-метил-4-бензоилпиразолоном-5

Ю. П. НОВИКОВ, П. Н. ПАЛЕЙ, М. Н. МАРГОРИНА

УДК 546.799.3

Отделение непутия от сопутствующих элементов может быть эффективно осуществлено экстракцией из сильноокислых растворов. В этих условиях легче устранить влияние гидролиза и полимеризации плутония, осложняющих отделение и очистку непутия.

В настоящей работе была исследована экстракция непутия 1-фенил-3-метил-4-бензоилпиразолоном-5 (ФМБП), который используется для извлечения ряда элементов, в том числе и плутония [1, 2]. В отличие от опубликованной недавно статьи Л. И. Мосеева и Б. В. Монахова [3], цель данной работы — изучить экстракцию с ФМБП в условиях, аналогичных для экстракции плутония.

Исходный раствор Np^{237} готовили путем растворения NpO_2 при нагревании в концентрированной HNO_3 с добавлением KBrO_3 . Содержание непутия в исходном растворе составляло 1 мг/мл. Растворы непутия в различных валентных состояниях готовили по известным методикам [4, 5], используя для получения Np(IV) сульфат железа (II) и азотнокислый гидразин. Пятивалентный непутий получали нагреванием раствора с нитритом натрия. До шестивалентного состояния непутий окисляли KBrO_3 . Использовали перекристаллизованный из гептана ФМБП в едальной форме. В качестве растворителей ФМБП применяли бензол и дихлорэтан. Аликвотные части раствора непутия вводили в делительные воронки с добавле-

нием 2,5 мл соответствующей кислоты. Концентрация непутия в исходной водной фазе составляла $1,69 \times 10^{-4}$ г-атом/л. Экстрагировали равным объемом ФМБП.

Экстракция из растворов HNO_3 . Непутий экстрагировали из 1—8 н. HNO_3 0,1 М растворами ФМБП в бензоле и дихлорэтоне (табл. 1). Равновесие достигалось менее чем за 1 мин. Время контакта фаз при экстракции составляло 2 мин. Как следует из табл. 1, Np(IV) почти количественно экстрагируется растворами ФМБП в бензоле вплоть до 5 н. HNO_3 .

При дальнейшем увеличении концентрации азотной кислоты процент экстракции уменьшается. При экстракции растворами ФМБП в дихлорэтоне высокий процент извлечения непутия сохраняется и при больших концентрациях HNO_3 . Экстракция Np(V) и Np(VI) в этих условиях незначительна. Исключение составляет экстракция Np(VI) , заметно увеличивающаяся при использовании растворов ФМБП в дихлорэтоне.

Опыты по экстракции Np(IV) растворами различной концентрации ФМБП в бензоле и дихлорэтоне показали, что полное извлечение Np из 3 н. HNO_3 при его концентрации $0,84 \cdot 10^{-4}$ г-атом/л достигается при концентрации ФМБП начиная с 0,03 М.

Из приведенных в табл. 2 данных следует, что оксалаты, ацетаты, фосфаты и аскорбиновая кислота существенного влияния на экстракцию Np(IV) не ока-

Экстракция (%) непутия из растворов азотной кислоты 0,1 М раствором ФМБП в бензоле и дихлорэтоне

Таблица 1

Концентрация HNO_3 , н.	Np (IV)		Np (V)		Np (VI)	
	Бензол	Дихлорэтан	Бензол	Дихлорэтан	Бензол	Дихлорэтан
0,5	—	—	0,7	1,7	2,0	2,8
1	99,3	99,1	1,0	1,4	0,8	2,2
2	99,0	99,1	0,7	1,8	0,7	2,4
3	99,0	99,1	—	—	—	—
4	97,9	98,6	0,6	2,2	0,4	8,0
5	95,5	98,1	—	—	—	—
6	87,2	95,2	1,4	5,5	1,8	38,1
8	43,8*	69,2	11,7	10,8	2,0	61,1

* Баланс по Np не сходится.

Влияние комплексобразующих веществ на экстракцию Np(IV) из 3 н. HNO_3 0,1 М раствором ФМБП в бензоле

Таблица 2

Концентрация аниона, г-ион/л	Экстракция Np(IV) , %					
	Оксалат	Ацетат	Фторид	Фосфат	Аскорбиновая кислота	Оксиэтилиденбисфосфоновая кислота
0,05	99,7	—	4,0	—	99,5	1,5
0,1	99,3	—	2,0	—	99,2	0,3
0,3	95,4	—	0,64	—	—	—
0,5	87,7	—	—	98,6	—	—
0,7	—	—	0,37	97,6	—	—
1,0	—	99,3	—	98,2	—	—
1,5	—	—	—	97,3	—	—
2,0	—	99,2	0,22	—	—	—
3,0	—	57,5	—	—	—	—