

расчете  $\theta$ , как правило, используют интегральные методы, одним из которых является альбедный метод [2].

В настоящей статье в рамках этого метода разработана теория возмущений для вычисления вариаций  $\theta$  в многозонных кольцевых ячейках. Задача формулируется в многогрупповой схеме с учетом термализации нейтронов. Приведены числовые примеры для одностороннего случая, иллюстрирующие хорошую точность предлагаемого способа при значительных вариациях сечений поглощения в зонах ячейки.

Приращение  $\theta$  рассчитывается в первом приближении теории возмущений для альбедного метода ( $\Delta\theta_{\text{альб}}$ ) через приращение вероятностей, описывающих диффузию нейтронов в «возмущаемых зонах» ячейки, а также через односторонние токи падающих на такие зоны нейтронов и «односторонние ценности» (вероятности захвата в горячем) для вылетающих из них нейтронов.

Токи и ценности нейтронов вычисляются лишь для основного варианта. Вариация  $\Delta\theta_{\text{альб}}$  в отличие от первого приближения диффузионной теории содержит поправку не только первого порядка относительно возмущаемых параметров (сечений и размеров зон), но и поправки более высоких порядков, поскольку вероятности являются нелинейными функциями этих

параметров. Поправка второго порядка учитывается приближенно, но тем точнее, чем меньше возмущаются односторонние токи падающих на рассматриваемые зоны нейтронов или ценности вылетающих нейтронов. Это обстоятельство неплохо выполняется, например, для центрального поглощающего стержня в ячейке, поскольку в этом случае токи и ценности обусловлены в основном нейтронами, ни разу не залетающими в стержень.

Ожидается, что использование предлагаемого способа намного сократит время вычислений в многогрупповых многозонных задачах. Метод теории возмущений незаменим при расчете тонких эффектов, когда возмущения малы и интересующие нас эффекты сравнимы с погрешностью «прямого расчета».

(№ 619/6624. Поступила в Редакцию 20/X 1971 г. Полный текст 0,6 а. л., 3 табл., 4 библиографических ссылки.)

### ЛИТЕРАТУРА

1. Г. И. Марчук. Методы расчета ядерных реакторов. М., Госатомиздат, 1961.
2. В. П. Сливов. «Инж.-физ. ж.», № 1, 80 (1964).

## Об эффективном методе расчета нейтронного поля в геометрически сложных решетках гетерогенных реакторов

В. В. СМЕЛОВ

УДК 539.125.52

Для расчета важных параметров гетерогенного реактора (коэффициент использования тепловых нейтронов, фактор проигрыша и т. д.) необходимо знать микроструктуру нейтронного поля в его решетке. Расчет такого поля превращается в достаточно сложную проблему, когда в среде размещены блоки разных видов. Этой проблеме и посвящена настоящая работа, в которой излагается приближенный метод решения односкоростного уравнения переноса в цилиндрических решетках сложной структуры\*.

Первый элемент предлагаемого метода состоит в том, что на плоскость поперечного разреза решетки наносится сеть линий  $L$ , отделяющая блоки разных видов друг от друга и подчиненная тому же двокопериодическому закону, что и сама решетка. Далее в каждой из сформированных сетью  $L$  областей (с изолированным блоком того или иного вида) строится своя полярная система координат с полюсом в центре блока. В любой из таких областей  $D_i$  ( $i = 1, 2, \dots$ ) поток нейтронов  $\Phi_i$  будет функцией переменных  $r_i, \omega_i, \mu, \psi_i$ , где  $r_i, \omega_i$  — полярные координаты пространственной точки, а  $\mu = \cos \theta$  и  $\psi_i$  — угловые координаты вектора скорости нейтрона в сферической системе координат, связанной к точке  $(r_i, \omega_i)$  общепринятым спо-

второй элемент метода — поиск функции потока нейтронов по  $\Phi_i(r_i, \omega_i, \mu, \psi_i)$  в виде следующего ряда:

$$\Phi_i(r_i, \omega_i, \mu, \psi_i) = \frac{1}{4\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=-n}^n \sum_{\nu=-\infty}^{\infty} (2n+1) \times \\ \times (n+m)! (n-m)! C_{nm}^{(\nu)}(r_i) S_{nm}^{(\nu)}(\mu, \psi_i, \omega_i) \quad (1)$$

по полной ортогональной системе функций  $S_{nm}^{(\nu)}(\mu, \psi, \omega)$  от трех независимых переменных

$$S_{nm}^{(\nu)}(\mu, \psi, \omega) = \frac{(-1)^m}{(n+m)!} P_n^{(m)}(\mu) e^{i(m\psi + \frac{\pi\nu}{l}\omega)} \\ (n=0, 1, 2, \dots; m=0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm n; \\ \nu=0, \pm 1, \pm 2, \dots),$$

где  $l$  — минимальный период функции  $\varphi(r, \omega, \mu, \psi)$  по  $\omega$ . В итоге получаем бесконечную систему обыкновенных дифференциальных уравнений относительно функций  $C_{nm}^{(\nu)}(r)$ .

Предлагаемый приближенный алгоритм решения задачи основан на сохранении в разложении (1) конечного числа слагаемых, в результате чего и система дифференциальных уравнений превращается в конечную. Удачным обстоятельством является тот факт, что система дифференциальных уравнений, а также условия в полюсе и на границах кольцевых зон «расщепляются» по переменной  $\nu$ . Это позволяет (не заботясь пока об «условиях шивки» вдоль сети  $L$ , где расщепление по  $\nu$  уже не имеет места) при каждом

\* Предполагается, что блоки каждого вида расположены в среде по некоторому периодическому закону и являются многослойными круговыми цилиндрами.

значении  $\nu$  независимо получить общее решение соответствующей конечной системы дифференциальных уравнений, удовлетворяющее условиям в полюсе и на границах кольцевых зон. Такое общее решение может быть найдено численно и содержит при  $\nu \neq 0$  ( $\nu = 0$ ) четыре (три) произвольные постоянные.

Заключительный этап метода — определение всех произвольных постоянных на основе вполне определенных условий шивки вдоль сети  $L$ .

## Метод экономической оценки производства химических продуктов с применением ядерных реакторов

Е. А. БОРИСОВ, В. Д. ТИМОФЕЕВ

УДК 621.039.5

В недалеком будущем принципиально возможно осуществление химических процессов с использованием излучения ядерного горючего. Это излучение является дешевым видом энергии. Если стоимость энергии изотопных источников излучения достигает 1 долл/квт·ч, то применение смешанного излучения ядерного реактора может привести к снижению этой величины до 0,1 долл/квт·ч, а с использованием осколков деления ядерного горючего — к уменьшению ее до 0,001 долл/квт·ч.\* С этой точки зрения реализация процессов с использованием ядерных реакторов весьма перспективна.

Однако экономические оценки себестоимости осуществления таких реакций, как синтез окислов азота, окиси углерода и т. д., привели к выводу, что эти процессы еще экономически неконкурентоспособны со способами обычной химической технологии. Отсюда вытекают необходимость расширения поисков новых реакций и возможность оценки перспективы тех или иных процессов на достаточно ранней стадии исследования.

Разработана методика экономической оценки перспективности изучаемых радиационнохимических процессов синтеза с применением в качестве источника излучений ядерного реактора на основе предварительных лабораторных данных. Принята следующая структура расходов, определяющих себестоимость

Созданная в ВЦ СО АН СССР достаточно универсальная рабочая программа на АЛГОЛе продемонстрировала высокую эффективность метода: полный расчет сложной решетки, отвечающий  $P_3$ -приближению, протекает за 5—7 сек на ЭВМ БЭСМ-6.

(№ 620/6626. Поступила в Редакцию 20/X 1971 г. В окончательной редакции 17/IV 1972 г. Полный текст 1,4 а. л., 8 рис., 8 библиографических ссылок.)

производства с применением ядерного реактора: сырье и материалы (включая вспомогательные), расходы на ядерное горючее (топливная составляющая), энергетические расходы, амортизационные отчисления, цеховые расходы (включая затраты на ремонт зданий, сооружений и оборудования, на содержание персонала и др.), общезаводские расходы, доходы от побочных продуктов (включая энергию, полученную за счет ядерного реактора).

Рассмотрены возможности расчета каждой из указанных статей расходов. Разработанная методика позволяет проводить оценку себестоимости химической продукции с применением в качестве источника излучения ядерного реактора на основе ограниченной информации о протекающем процессе. Для расчета необходимо знать радиационнохимический выход продукта при данном весовом содержании его в смеси в условиях, которые могут быть реализованы в данном реакторе, а также расход сырья и выход побочных продуктов.

Не меньшее значение может иметь обратный способ расчета, когда определяются производительности, которых необходимо достичь, чтобы себестоимость производства данного продукта удовлетворяла практическим потребностям. Эта методика, таким образом, может быть применена для выбора направлений исследования и постановки задачи перед исследователями.

(№ 621/6692. Поступила в Редакцию 7/XII 1971 г. В окончательной редакции 22/V 1972 г. Полный текст 0,55 а. л., 2 табл., 6 библиографических ссылок.)

## Взаимодействие монокарбида урана с азотом

А. Р. БЕКЕТОВ, В. Г. ВЛАСОВ, В. А. БЕЗДЕНЕЖНЫХ, В. А. ТАЛИНИН

УДК 541:661.879.1

Рассматриваются кинетика и механизм азотирования монокарбида урана в интервале температур 923—1223° К при давлении газа  $6,67 \cdot 10^{-3}$ — $80,0 \cdot 10^4$  н/м<sup>2</sup>. В качестве исходных материалов использовались: а) порошкообразный карбид урана ( $UC_{0,99}$ ), содержащий 95,25% урана и 4,75% углерода; б) газообразный азот, имеющий не более  $10^{-3}$  об. % примесей. Контроль за ходом процесса осуществлялся непрерывным измерением веса навески при постоянной циркуляции газа-реагента. Продукты реакции анализировались на содержание свободного и связанного углерода, азота,

урана, кроме того, определялся их фазовый состав рентгенографическим методом.

На начальном этапе процесс описывается кинетическим уравнением

$$g^2 = k_1 \tau, \quad (1)$$

справедливым для превращения до 13% при 923 и 1023° К и до 20% — при температурах 1123—1223° К (за 100% превращения принят полный переход монокарбида урана в полуторный нитрид). На второй стадии увеличение веса навески происходит в соответствии