

Температурная зависимость диффузионных параметров медленных нейтронов в гидриде циркония

А. В. АНТОНОВ, Б. В. ГРАНАТКИН, М. В. КАЗАРНОВСКИЙ,
Ю. А. МЕРКУЛЬЕВ, В. З. НОЗИК, М. С. ЮДКЕВИЧ

УДК 539.126.52

Выполнено экспериментальное и теоретическое исследование процесса нестационарной диффузии нейтронов в гидриде циркония ($ZrH_{1,0}$) при температурах 77—500° К. Впервые получена экспериментальная зависимость коэффициента диффузии \bar{D} и коэффициента диффузионного охлаждения C от температуры.

В диапазоне 300—500° К температурная зависимость для \bar{D} хорошо описывается формулой

$$\bar{D} = (3,75 \pm 0,08) 10^4 (T/300)^{1,15 \pm 0,10} \text{ см}^2 \cdot \text{сек}^{-1}$$

(при плотности гидрида циркония 5 г/см³). Экспериментальные значения \bar{D} хорошо согласуются с данными, рассчитанными авторами по кристаллической модели (в некогерентном приближении). Рассчитанные по этой модели значения коэффициентов C согласуются с экспериментом хуже.

При обработке экспериментальных данных и определении параметров диффузии были использованы следующие способы.

1. Традиционный метод — путем аппроксимации экспериментальной зависимости для константы затухания плотности нейтронов от времени λ первыми тремя членами степенного ряда:

$$\lambda = \sum_a \bar{V} + \bar{D}B^2 - CB^4 + FB^6 + GB^8 + \dots$$

(Здесь и далее используются общепринятые обозначения.) При обработке учитывались измерения только с достаточно большими блоками, для которых $B^2 \leq \leq 0,2 \text{ см}^{-2}$.

2. С помощью четырехпараметрической формулы

$$\lambda = \sum_a \bar{V} + \bar{D}B^2 \left(1 - \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{C}{\bar{D}} B^2\right)^\gamma,$$

где γ удовлетворяет соотношению $-1 \leq \gamma \leq 0$. При обработке вторым способом принимались во внимание значения λ , полученные в измерениях как с большими, так и с малыми системами вплоть до систем со значениями λ , близкими к пределу Корнгольда $\lambda = \lambda^* = [\bar{V}\Sigma_a]_{\text{мин}}$ (для $T = 300^\circ \text{ К}$ рассчитанное значение $\lambda^* = 17400 \text{ сек}^{-1}$).

3. Аппроксимация экспериментальной кривой $\lambda(B^2)$ с помощью теоретической зависимости, рассчитанной на основе сепарабельной модели ядра рассеяния.

Значения коэффициентов диффузии, полученные в результате обработки тремя указанными способами, хорошо согласуются между собой. Значения $\sum_a \bar{V}$ также хорошо совпадают, однако второй и третий способы обработки приводят к более точным результатам: $\sum_a \bar{V} = 5850 \pm 50 \text{ сек}^{-1}$. Значения коэффициента диффузионного охлаждения, полученные вторым и третьим способами, также имеют меньшую погрешность, чем результаты первого метода (при комнатной температуре $C_{\text{эксперим}} \approx (4 \div 5) \cdot 10^4 \text{ см}^4/\text{сек}$, $C_{\text{расчет}} \approx 3 \times 10^4 \text{ см}^4/\text{сек}$).

В работе приведены экспериментальные оценки времени термализации нейтронов в гидриде циркония при температурах 20—500° К.

(№ 419/5464. Статья поступила в Редакцию 8/VII 1969 г., аннотация — 2/III 1970 г. Полный текст 0,5 а. л., 4 рис., 15 библиографических ссылок).

Об использовании метода множителей Лагранжа при оптимизации ядерных реакторов

Э. Г. САХНОВСКИЙ

Рассмотрена оптимизация систем, описываемых уравнениями, вид которых меняется в некоторой точке области изменения независимой переменной. При этом минимизируемый функционал и краевые условия зависят от внутренних точек указанной области, а на управляющие функции наложены ограничения, зависящие

от переменных состояния системы. Такие задачи возникают при поисках оптимальных компоновок ядерных реакторов с отражателем, когда в качестве ограничений существуют теплотехнические условия.

Известно [1], что переход с помощью вспомогательных управляющих функций от ограничений, имеющих

УДК 621.039.516

форму нестрогих неравенств, к эквивалентным связям в форме равенств позволяет решать неклассические задачи теории управления также и методами классического вариационного исчисления. Последнее достигается включением указанных связей с помощью множителей Лагранжа в функционал, отличающийся от исходного на равные нулю слагаемые. Тем самым осуществляется переход к более общему функционалу, заданному, однако, уже на открытом множестве входящих в него функций.

Таким образом, с помощью указанного приема, используя обычную технику вариационного исчисления совместно с некоторой модификацией классических рассуждений, можно получить все необходимые условия оптимальности рассматриваемых систем.

В качестве простого примера, иллюстрирующего возможности метода и допускающего единственное аналитическое решение, рассмотрена в одногрупповом приближении задача о минимуме критического размера плоского реактора с отражателем при наличии огра-

ничений на концентрацию урана и удельную мощность и при заданной полной мощности реактора. Получено точное решение задачи: активная зона оптимальной модели реактора имеет центральную область, для которой концентрация урана определяется из условия максимально допустимой удельной мощности, и периферийные области с максимально допустимой концентрацией урана. Аналогичный результат для двухзонных реакторов без отражателя был получен в двухгрупповом приближении на основе принципа максимума Л. С. Понтрягина в работе [2].

(№ 420/5676. Поступила в Редакцию 12/XII 1969 г. Полный текст 0,5 а. л., 9 библиографических ссылок.)

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Троицкий. «Прикладная математика и механика», 26, № 1, 29 (1962).
2. Т. С. Зарицкая, А. П. Рудик. «Атомная энергия», 22, 6 (1967).

Определение паросодержания с помощью расходомерных устройств

В. В. ВАЗИНГЕР

УДК 621.039.564.5

Метод определения паросодержания с помощью расходомерных устройств отличается от других методов, предназначенных для этой же цели, тем, что он дает возможность определять величину весового (расходного) паросодержания так же, как и при сведении теплового баланса. Однако он выгодно отличается от последнего способа простотой аппаратного оснащения и возможностью полной автоматизации определения и последующего использования полученных данных.

Необходимым условием реализации этого метода является измерение массового расхода контролируемой среды, что делает его пригодным для контроля паросодержания на выходе из каналов кипящих реакторов, в которых, как правило, измеряется расход воды на каждый канал.

Для данного метода принципиально пригодны все расходомерные устройства, предназначенные для измерения объемного расхода. То, что исследования были начаты с дроссельных устройств, объясняется тем, что эти устройства наиболее просты и хорошо изучены.

Теоретические предпосылки, уточненные по данным последующих экспериментов, позволили установить зависимости между весовым (расходным) паросодержанием χ , показаниями расходомеров и параметрами паро-водяной смеси.

1. Для дроссельных устройств

$$\chi = K \frac{\frac{\Delta P}{K_1 v' G^2} - 1}{\frac{v''}{v'} - 1},$$

где K_1 — постоянная дроссельного устройства, установленного на выходе из канала, получаемая из уравнения весового расхода, $\text{сек}^2/\text{м}^5$; v' , v'' — удельный объем воды и пара при температуре насыщения, $\text{м}^3/\text{кг}$; G — весовой расход воды на канал, $\text{кг}/\text{сек}$; ΔP — перепад давления на дроссельном устройстве, $\text{кг}/\text{м}^2$.

Коэффициент K для труб Вентури может быть представлен эмпирической формулой

$$K = 3,5 \sqrt[4]{\frac{d}{K_1 (Gv')^2}},$$

где d — диаметр среднего цилиндра трубы Вентури, м .

2. Для ротаметров

$$\chi = \frac{v' - v_n}{v'' - v'} \left[\left(\frac{n}{n'} \right)^2 - 1 \right],$$

где v_n — удельный объем поплавка, $\text{м}^3/\text{кг}$; n — показания ротаметра при протекании паро-водяной смеси; n' — тоже при протекании воды при температуре насыщения.

3. Для шарикового расходомера

$$\chi = 1,5 \left(\frac{\frac{\omega}{\omega'} - 1}{\frac{v''}{v'} - 1} \right)^{0,7},$$

где ω — число оборотов шарика при протекании паро-водяной смеси, сек^{-1} ; ω' — то же при протекании воды с температурой насыщения, сек^{-1} .

Для использования в энергетических установках с кипящими реакторами канального типа наиболее перспективными, по нашему мнению, являются трубы Вентури, которые в отличие от других рассмотренных расходомерных устройств не имеют подвижных частей в потоке паро-водяной смеси и могут быть установлены на трубопроводе в любом положении, кроме того, они имеют малые безвозвратные потери.

(№ 421/5638. Поступила в Редакцию 11/XI 1969 г. Полный текст 0,8 а. л., 15 рис., 8 библиографических ссылок.)