

Рис. 1. Зависимость изменения длины образцов, вырезанных параллельно (а) и перпендикулярно (б) оси продавливания, от флюенса нейтронов: ○ — начальное облучение при 130–170 °С; ● — последующее облучение при 70 °С; — — — — данные для графита ГМЗ при указанных температурах, полученные ранее [2]

областями будет начинаться при все более высоких значениях флюенса. Однако при температуре выше 300–350 °С эта разность практически становится постоянной, в связи с чем $F_{перех}$ не должно увеличиваться. Для объяснения нисходящей ветви кривой f на рис. 2 заметим, что выше 400 °С вакансии радиационного происхождения приобретают заметную подвижность. Выделение вакансий из пересыщенной ими графитовой матрицы, последующая их коа-

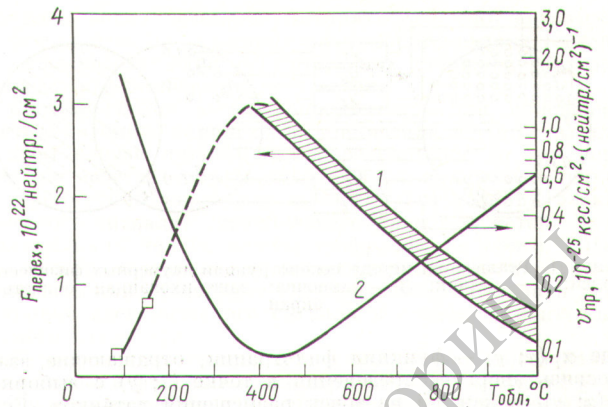


Рис. 2. Зависимость от температуры облучения значения флюенса $F_{перех}$ соответствующего началу вторичного распухания графита (1), и приведенной скорости установившейся радиационной ползучести (2) [3]: заштрихованная полдса построена по данным работы [3]; □ соответствует $F_{перех}$ на рис. 1

гуляция в вакансионные микропоры и объединение последних в микротрещины лежат в основе предложенного в работе [1] механизма вторичного распухания графита при высокотемпературном облучении. Скорости перечисленных взаимосвязанных процессов растут с увеличением температуры облучения (во всяком случае, до 1000–1100 °С), поэтому значение $F_{перех}$ снижается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куроленки Е. И., Виргильев Ю. С. В кн.: Реакторное материаловедение. Труды конф. по реакторному материаловедению. Т. 2. М., изд. ЦНИИатоминформ, 1978, с. 135.
2. Виргильев Ю. С., Калягина И. П., Макаренко В. Г. «Атомная энергия», 1979, т. 46, вып. 3, с. 180.
3. Гончаров В. В. и др. Действие облучения на графит ядерных реакторов. М., Атомиздат, 1978.
4. Виргильев Ю. С. и др. В кн.: Конструкционные материалы на основе графита. Вып. 7. М., «Металлургия», 1972, с. 73.

Поступило в Редакцию 20.11.78

УДК 681.518:53.083.94

Индикатор физических полей «Полескоп»

АЛЕРСАКОВ Г. Н., ТЕРЕХОВ Г. П.

Опыт эксплуатации уран-графитовых каналных реакторов РБМК показал, что при тех же размерах конструкций их мощность можно значительно форсировать, не увеличивая риска перехода в область критических тепловых нагрузок, за счет оперативной оптимизации энергораспределения [1]. Один из путей решения этой задачи — усовершенствование устройств отображения энергораспределения или распределения нейтронов. С одной стороны, эти устройства должны давать оператору более полную общую картину распределения, а с другой — упрощать выбор конкретных локальных управляющих воздействий.

РБМК оснащены развитой системой датчиков внутризонного контроля. Однако электрический сигнал каждого из датчиков дает информацию о значении контролируемого параметра в точке его размещения, и поэтому для представления общей картины энергораспределения информационная система должна выполнять две функции: вос-

становивать (реконструировать) по выборкам-сигналам конечного числа датчиков непрерывное энергораспределение и изображать полученное энергораспределение в виде, удобном для восприятия оператора. Эти операции должны выполняться достаточно быстро с тем, чтобы оператор располагал временем на принятие решений о выборе корректирующих воздействий и на их исполнение.

Задача реконструкции достаточно гладкого энергораспределения $g(x, y)$, заданного выборками значений контролируемого параметра в точках $g(x, y)_i$, решается в общем случае [2] путем аппроксимации непрерывной функции $g(x, y)$ рядом

$$g(x, y) \approx g^a(x, y) = \sum_{i=1}^l g(x, y)_i \alpha_i(x, y), \quad (1)$$

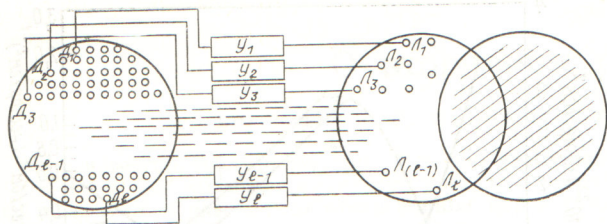


Рис. 1. Реализация метода реконструкции двумерных физических полей: Д — датчик; Л — лампочка; заштрихованная область — экран

где $\alpha_i(x; y)$ — функции фильтрации, отражающие взаимосвязь энергораспределения в точке $(x; y)$ с выборкой $g(x; y)_i$ в каждой из точек размещения датчиков. Если датчики энергораспределения располагаются в узлах сетки с квадратными ячейками и находятся в одинаковых условиях, то функции фильтрации одинаковы и определяются положением точки $(x; y)$ относительно точки размещения датчика $(x; y)_i$:

$$\alpha_i(x; y) = \alpha[(x; y) - (x; y)_i]. \quad (2)$$

В этом случае ряд (1) принимает вид

$$g^a(x; y) = \sum_{i=1}^l g(x; y)_i \alpha[(x; y) - (x; y)_i]. \quad (3)$$

Энергораспределение по соотношениям (1) или (3) может реконструироваться как цифровыми, так и аналоговыми вычислительными средствами, а полученные результаты — отображаться на световых табло или предъявляться оператору в виде последовательности таблиц цифровых значений энергораспределения.

Оптическое моделирование позволяет совместить операции реконструкции энергораспределения по выборкам и отображения полученного результата в виде светового поля, распределение освещенности которого соответствует распределению значений контролируемого физического параметра. С этой целью при помощи сигналов датчиков (рис. 1) через согласующие усилители (У) управляют яркостью источников света, размещенных на плоскости подобно расположению датчиков в плоскости реактора. На экране, расположенном параллельно плоскости размещения источников света, получают поле освещенности. Если зависимость освещенности, создаваемой каждым из источников света $g(x; y)_i$, соответствует функции фильтрации $\alpha_i(x;$

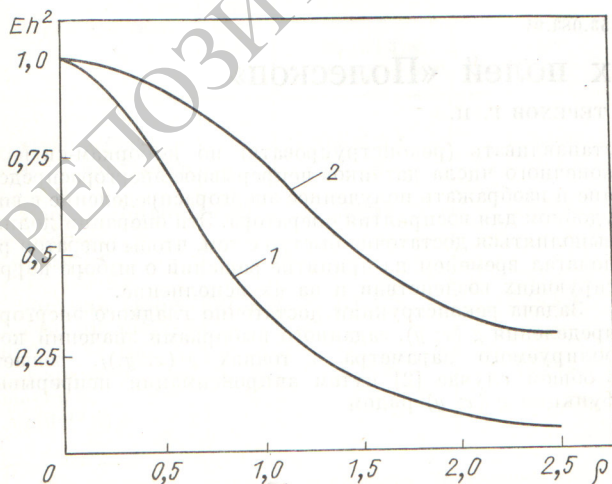


Рис. 2. Функция фильтрации $E(\rho; h) h^2$ при $h = 1$ (1) и $h = 2$ (2)

$y)$, то освещенность каждой из точек экрана определяется соотношением (1). Таким образом, освещенность экрана отображает распределение контролируемого параметра.

Оптическими средствами можно получить любой вид функции фильтрации $\alpha_i(x; y)$. Как и для других способов реконструкции распределения, решение задачи упрощается для регулярной сетки датчиков, находящихся в одинаковых условиях. В этом случае в соответствии с выражением (3) вид функций фильтрации для всех выборок одинаков. Конструктивно наиболее просто приблизить характеристику источника света к точечному, для которого зависимость освещенности E от расстояния до экрана h и радиус-вектора ρ от проекции источника на экран до точки экрана $(x; y)$ выражается соотношением

$$E(\rho; h) = I \frac{h}{(h^2 + \rho^2)^{3/2}}, \quad (4)$$

где I — интенсивность источника света.

Соотношение (2) можно переписать в виде

$$E(\rho; h) = \frac{I}{h^2} \frac{1}{(1 + \frac{\rho^2}{h^2})^{3/2}} = \frac{I}{h^2} \frac{1}{(1 + r^2)^{3/2}}, \quad (5)$$

где $r = \rho/h$ — относительное удаление точки $(x; y)$ от проекции источника. Сечение этой функции плоскостью, проходящей через проекцию источника, показано на рис. 2. Варьируя расстояние h , можно регулировать «остроту фильтрации» функции $E(\rho, h)$ при $h = \text{const}$. Такой подбор позволяет минимизировать погрешность реконструкции распределения

$$R(x; y) = g(x; y) - g^a(x; y) \quad (6)$$

для любых разумных функций $g(x; y)$. Численно величину погрешности можно оценивать при помощи соотношения

$$\Delta_{\text{КВ}} = \frac{\int_{x; y \in S} R^2(x; y) dx dy}{\int_{x; y \in S} g^2(x; y) dx dy} \quad (7)$$

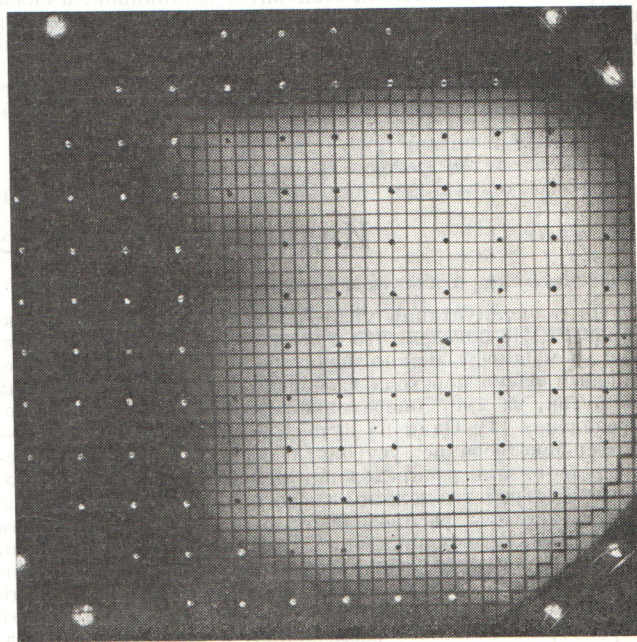


Рис. 3. Экран с сеткой меток для одного из распределений

или

$$\Delta_{\text{мод}} = \frac{\int_{x; y \in S} |R(x; y)| dx dy}{\int_{x; y \in S} g(x; y) dx dy}, \quad (8)$$

где интегралы берутся по всей контролируемой области S . Расчеты и эксперименты показывают, что минимизация погрешностей реконструкции достигается при $m = a/h = 0,7$ (a — шаг решетки точечных источников света). При таком относительном шаге функции фильтрации точечных источников являются «достаточно гладкими» для того, чтобы выравненное энергораспределение не имело видимых неравномерностей освещенности, и в то же время достаточно острыми для уверенной регистрации, например провалов распределения, соответствующих отключению одной из лампочек.

Глаз человека хорошо воспринимает разницу между освещенностью соседних участков с явно выраженной границей. Порог чувствительности при этих условиях 0,2 — 0,5% в зависимости от уровня освещенности. Для использования этой особенности зрения с экраном совмещена сетка меток, яркость которых одинакова и может одновременно регулироваться в пределах 0—100% относительно максимальной яркости экрана. Метки располагаются в точках, соответствующих расположению регулирующих стержней (рис. 3).

Яркость меток характеризует контролируемый параметр. Если значение параметра ниже номинального уровня, метки выглядят светлыми на темном фоне, если выше — темными на светлом фоне, а в зоне с номинальным распре-

делением метки исчезают. Алгоритм действий оператора по формированию заданного энергораспределения состоит в таком перемещении регулирующих стержней, которое приведет к исчезновению всех меток.

Систему меток можно использовать для измерения контролируемого параметра в конкретной точке реактора. В этом случае яркость меток регулируют до тех пор, пока не исчезнет метка, находящаяся в заданной точке. Контролируемый параметр измеряют по значению электрического сигнала, управляющего яркостью меток. Чувствительность такого метода измерения не менее 0,5%, а точность определяется погрешностями реконструкции распределения, измерения электрического сигнала и градуировки электрического сигнала в единицах контролируемого параметра.

Индикатор физических полей «Полескоп» может найти применение в физическом эксперименте и в системах ручного и полуавтоматического управления различными объектами с распределенными параметрами. Постановка данной задачи явилась результатом обсуждения проблем управления энергораспределением в реакторах с рядом сотрудников НИКИЭТ. Развитию работы способствовали внимание к ней и поддержка И. Я. Емельянова. Авторы признательны также Я. В. Шевелеву за поддержку и ценные замечания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доллежал Н. А. «Атомная энергия», 1978, т. 44, вып. 5. с. 203.
2. Гудмен Дж. Введение в фурье-оптику. М. «Мир», 1970.

Поступило в Редакцию 08.01.79

УДК 541.15

Исследование радиационной стойкости фосфорсодержащих катионитов

МАКАРОВА С. Б., СМЕРНОВ А. В., ТЕЛЕГИН А. С., БЫЧКОВ Н. В., РОГИНСКАЯ Б. С.

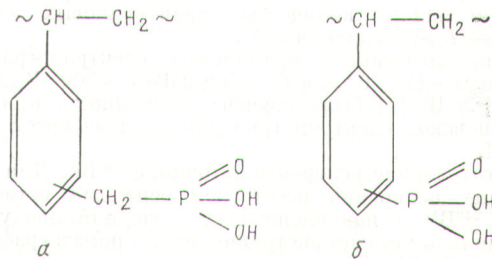
Радиационная стойкость фосфорсодержащих (фосфоновых) катионитов недостаточна для использования их в сорбции радиоактивных элементов [1]. В настоящей работе на примере фосфоновых (КРФ) и метилфосфоновых (КРМФ) катионитов на основе сополимеров стирола с 2 и 5% дивинилбензола исследовано влияние технологии получения и строения фосфорсодержащих катионитов на их радиационную стойкость.

Катиониты КРФ получены фосфорилированием сополимеров треххлористым фосфором в присутствии безводного хлористого алюминия с последующим гидролизом и окислением 25%-ной азотной кислотой или 20%-ной перекисью водорода [2], а катиониты КРМФ — фосфорилированием хлорметилированных сополимеров треххлористым фосфором в присутствии безводного четыреххлористого олова с последующим гидролизом (см. рисунок).

Образцы катионитов облучали под слоем воды на источнике с ^{60}Co в интервале доз 200—1200 Мрад. Облученный катионит отмывали от продуктов деструкции не менее чем 5 объемами воды, при этом фиксировали объем катионита до и после облучения. После кондиционирования в цикле $\text{Na}^+ - \text{H}^+$ определяли обменную емкость по 0,1 н. NaOH . Потенциметрическое титрование катионитов в H -форме проводили методом отдельных навесок, измеряя pH равновесных растворов на приборе pH-262 (навеска 0,3 г, общий объем 0,1 н. NaOH и NaCl 50 мл). ИК-спектры записывали двухлучевым спектрометром UR-20. Образцы готовили прессованием 2 мг катионита со 150 мг безводного бромида калия. Термогравиметрические кривые получены на дериватографе системы ОД-101 в атмосфере азота при скорости нагревания 6 град/мин.

Найдено, что наименьшей радиационной стойкостью обладают катиониты КРФ-2п и КРФ-5п, в процессе получения которых на стадии окисления использовали азотную кислоту. При дозе 500 Мрад полностью разрушается катионит КРФ-2п; при дозе 1200 Мрад катионит КРФ-5п. Стойкость катионитов КРМФ и катионита КРФ-5п, полученного с использованием в качестве окислителя перекиси водорода, значительно выше (см. таблицу).

Низкая радиационная стойкость катионитов КРФ связана, очевидно, с обработкой их азотной кислотой: при замене ее на более мягкий окислитель стойкость фосфоновых катионитов КРФ значительно возрастает, хотя и остается ниже, чем у КРМФ. Повышенная стойкость последних, видимо, объясняется отсутствием в их технологии стадии окислительной обработки, так как по свое-



Структура элементарного звена катионитов КРМФ (а) и КРФ (б)