

Биологическая защита реактора РГ-1М при работе его на мощности 30 *квт* обеспечивает безопасную радиационную обстановку в реакторном зале и во всех прилегающих к реактору помещениях.

Примененные на реакторе РГ-1М бескожуховые топливные кассеты [2] и графитовые вытеснители позволяют в процессе эксплуатации реактора создавать различные конфигурации активной зоны и отражателя. Кроме того, следует отметить, что при необходимости число экспериментальных каналов, оборудованных пневматической системой подачи образцов в активную зону и отражатель, может быть увеличено. Причем это не приводит к принципиальным конструктивным ограничениям, а также ограничениям с точки зрения обеспечения ядерной и радиационной безопасности в реакторе РГ-1М.

## Исследование поверхностного загрязнения твэлов реактора ВВР-М делящимся материалом и оценка его вклада в осколочную активность теплоносителя

Н. Г. БАДАНИНА, К. А. КОНОПЦЕВ, Ю. П. САЙКОВ

УДК 621.039.548.535

Одним из возможных источников осколочной активности теплоносителя является загрязнение ядерным горючим оболочек твэлов при их изготовлении. Обычно по техническим условиям при изготовлении твэлов допускается загрязнение до  $1 \cdot 10^{-8}$  г U/cm<sup>2</sup> [1]. Топливная сборка реактора ВВР-М состоит из трех твэлов в виде концентрических труб (наружная труба шестигранная) с толщиной плакирующего алюминиевого слоя 0,9 мм при общей толщине труб 2,5 мм.

Для изучения поверхностного загрязнения твэлов, используемых на реакторе Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе АН СССР, был выбран метод определения урана по регистрации осколков деления, образующихся при нейтронном облучении, с помощью трекового детектора [2]. Этим методом путем изменения интегрального потока нейтронов можно определить поверхностное содержание урана в очень широком диапазоне концентраций: от микропримесей урана в чистых конструкционных материалах до собственно ядерного горючего. При выбранном интегральном потоке нейтронов  $\sim 1 \cdot 10^{12}$  нейтр/см<sup>2</sup> удалось перекрыть диапазон  $10^{-11}$ — $10^{-6}$  г U<sup>235</sup>/см<sup>2</sup> (на границах интервала ошибка достигала  $\pm 70\%$ ). Очень важным преимуществом этого метода применительно к изучению поверхностного загрязнения является то, что он позволяет определить пространственное распределение урана. Это может быть полезным для выявления причин загрязнения в технологическом процессе изготовления твэлов.

Регистрация осколков деления трековыми детекторами основана на том, что осколок деления оставляет дефектную область (трек), которая селективно проявляется при химическом травлении, после чего трек хорошо просматривается под микроскопом. В качестве материала детектора был выбран лавсан, так как он удобен при измерении на сложных по конфигурации поверхностях, и технология его изготовления исключает наличие тяжелых элементов, т. е. он является практически бесфоновым детектором [3].

Исследованию поверхностного загрязнения подвергались наружные поверхности шестигранного твэла.

К поверхности каждой грани твэла прикреплялся эталон с известным содержанием U<sup>235</sup>, равномерно рас-

Как показал опыт эксплуатации, система охлаждения реактора РГ-1М имеет большой резерв, что в принципе позволяет довести мощность реактора до 100—120 *квт* без существенного изменения рабочей загрузки активной зоны.

Поступило в Редакцию 11/V 1971 г.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. М. Булкин и др. «Атомная энергия», 21, 319 (1966).
2. Ю. М. Булкин и др. «Исследовательский ядерный реактор». Авторское свидетельство № 227939 от 12 июля 1968 г.

пределенного по всей площади размером  $1 \times 1$  см. Затем поверхность твэла плотно покрывалась лавсаном толщиной 30 мк. В таком виде твэл подвергался облучению в горизонтальном канале реактора ВВР-М в специальном устройстве, позволяющем перемещать его по вертикали, чем достигалось равномерное облучение по высоте твэла.

Время облучения составляло 12—16 ч, поток тепловых нейтронов —  $(1-2) \cdot 10^7$  нейтр/см<sup>2</sup>·сек. После облучения лавсановая пленка травилась в 40%-ном растворе КОН при  $t = 60^\circ$  С в течение 2,5 ч с последующей промывкой в воде и просушкой. Такие условия травления используемого материала позволяют исключить регистрацию  $\alpha$ -частиц, что проверено по  $\alpha$ -излучению с энергией  $\sim 5$  Мэв.

Считывание треков производилось под микроскопом с 90-кратным увеличением. Содержание U<sup>235</sup> на поверхности рассчитывалось по формуле

$$\rho = \frac{N \cdot m}{N_1} \cdot \epsilon U^{235}/\text{см}^2,$$

где  $N$  и  $N_1$  — количество треков на детекторе, снятом с интересующей площади твэла и эталона соответственно;  $m$  — содержание U<sup>235</sup> на эталоне. Обычно использовались эталоны с содержанием U<sup>235</sup>  $\sim 1 \cdot 10^{-10}$  г/см<sup>2</sup>.

Экспериментальная ошибка определения содержания U<sup>235</sup> на поверхности твэла по результатам двукратного облучения одного и того же твэла составила 40%. Ошибка складывается в основном из субъективной ошибки сосчитывания треков, ошибки за счет неравномерности потока нейтронов, статистической ошибки и ошибки определения U<sup>235</sup> во вкраплениях.

По данным, полученным после обсчета всей рассмотренной пленки детектора (5923 см<sup>2</sup>), был построен график распределения поверхностного загрязнения по занимаемой площади (рис. 1). Поверхностное содержание урана в интервале  $1 \cdot 10^{-11}$ — $1 \cdot 10^{-10}$  г U<sup>235</sup>/см<sup>2</sup> объясняется наличием урана в материале плакировки.

Поверхностное содержание U<sup>235</sup>, определенное в образце алюминиевого сплава, идущего на изготовление твэла, составило  $2,7 \cdot 10^{-11}$  г/см<sup>2</sup>, что соответствует

среднему содержанию урана в конструкционных материалах —  $1 \cdot 10^{-6}$  г/г [1].

Загрязнения в интервале  $1 \cdot 10^{-10}$ — $1 \cdot 10^{-9}$  г  $U^{235}/см^2$  занимают 65% рассмотренной площади твэлов и характеризуются довольно равномерным распределением по площади твэла.

Участки с содержанием  $U^{235}$  более  $1 \cdot 10^{-9}$  г/см<sup>2</sup> рассматривались как аномальные и, по-видимому, связаны микровкраплениями урана в алюминий. Как показал  $\alpha$ -спектр одного из таких участков, микровкрапления обусловлены обогащенным ураном по изотопу  $U^{235}$ . В среднем 20%  $U^{235}$ , находящегося на рассматриваемой поверхности твэлов, приходится на аномальные участки загрязнения, хотя занимаемая ими площадь составляет только 3,74 см<sup>2</sup>, что соответствует 0,072% всей рассмотренной площади. Частота появления вкраплений, определяемая как отношение количества обнаруженных участков ко всей рассмотренной площади твэлов, соответствует 0,05 см<sup>-2</sup>. Это означает, что в среднем на каждые 20 см<sup>2</sup> площади приходится одно вкрапление. На рис. 2 представлен один из участков загрязнения твэла, проявляющийся на детекторе в поле зрения микроскопа.

Для оценки прочности фиксации поверхностного загрязнения производилась протирка топливной сборки увлажненной бязью. Измерения поверхностного загрязнения до и после протирки показали, что в среднем 70%  $U^{235}$ , содержащегося во вкраплениях, было раз-

Рис. 1. Распределение поверхностного загрязнения  $\rho$  (в г  $U^{235}/см^2$ ) по занимаемой площади.

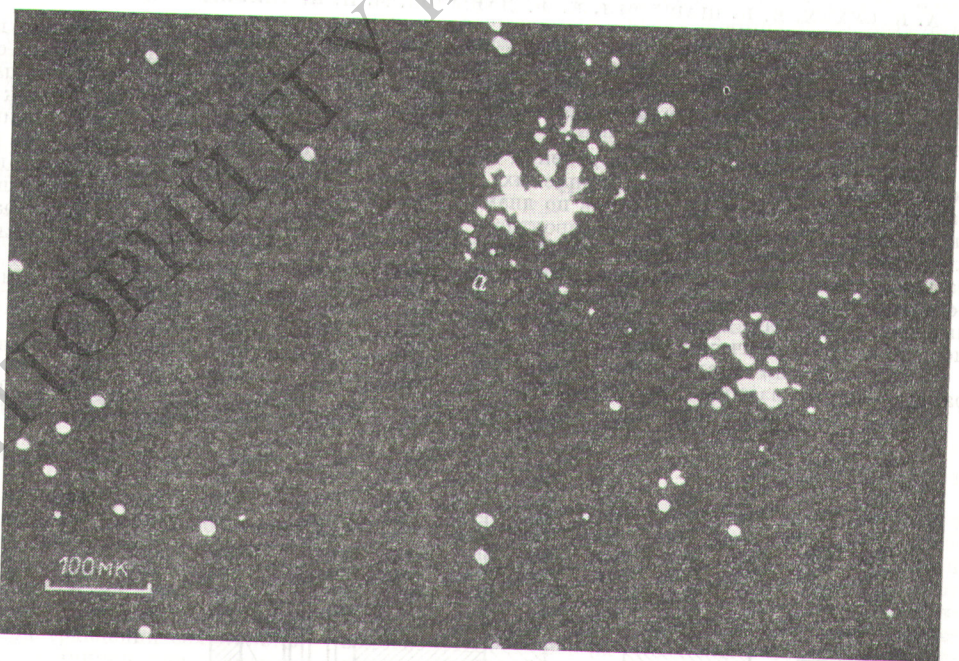
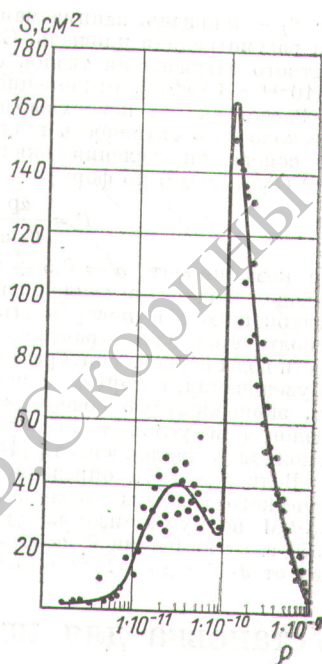


Рис. 2. Вид одного из участков загрязнения твэла, проявляющийся на детекторе в поле зрения микроскопа (и — аномальный участок).

мыто по поверхности. Особенно наглядно это проявилось на участках с большим содержанием  $U^{235}$  (свыше  $1 \cdot 10^{-7}$  г/см<sup>2</sup>).

Несмотря на то что наблюдались явления размазывания и переноса вкраплений, изменение величины поверхностного загрязнения до и после протирки твэлов находилось в пределах ошибки измерения.

Среднее значение поверхностного загрязнения определялось из гистограммы, представленной на рис. 1, как

$$\bar{\rho} = \sum_{i=1}^n \rho_i \frac{S_i}{S_n}$$

где  $S_i$  — площадь, занимаемая загрязнением  $\rho_i$ ;  $S_n$  — вся рассмотренная площадь. Среднее значение поверхностного загрязнения твэлов составило  $(3,3 \pm 1,0) \times 10^{-10}$  г  $U^{235}/\text{см}^2$ , отклонение — среднеквадратичное.

Расчет вклада поверхностного загрязнения твэлов в осколочную активность теплоносителя производился на основе определения эквивалентного содержания  $U^{235}$  ( $P_{\text{ЭКВ}}$ , г/см<sup>2</sup>) по формуле

$$B = \frac{a\rho}{P_{\text{ЭКВ}}},$$

где коэффициент  $a = 0,5 \div 1$  учитывает неполный выход осколков в теплоноситель за счет осколков, углубившихся в поверхность твэла. Величина  $P_{\text{ЭКВ}}$  используется для характеристики осколочной активности воды первого контура и определяется по скорости ее увеличения, которую можно представить как величину, эквивалентную содержанию  $U^{235}$  на поверхности твэлов при условии полного выхода образовавшихся осколков в теплоноситель [4].

Величина  $P_{\text{ЭКВ}}$ , определяемая по данным радиохимического анализа воды первого контура реактора ВВР-М по сумме изотопов йода, стронция, бария, за 1970 г. от кампании к кампании изменялась в пределах от  $9 \cdot 10^{-9}$  до  $2 \cdot 10^{-9}$  г  $U^{235}/\text{см}^2$ . Средняя величина

эквивалентного содержания  $U^{235}$  за год составляла  $6 \cdot 10^{-9}$  г  $U^{235}/\text{см}^2$ .

Вклад поверхностного загрязнения в осколочную активность теплоносителя, определяемый по средней величине эквивалентного содержания  $U^{235}$  за 1970 г., составил  $3 \pm 1\%$  при  $a = 0,5$ .

В заключение авторы выражают глубокую признательность и благодарность Д. М. Каминкеру, И. Г. Берзиной, Г. Я. Васильеву и В. А. Перельгину за поддержку и помощь в работе.

Поступило в Редакцию 18/V 1971 г.  
В окончательной редакции 21/VII 1971 г.

### ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Поликарпов и др. Контроль герметичности тепловыделяющих элементов. М., Госатомиздат, 1962 г.
2. P. Pricc, R. Walker. Appl. Phys. Letters, 2, 23 (1963).
3. И. Г. Берзина и др. «Атомная энергия», 23, 520 (1967).
4. Н. Г. Баданина, Ю. П. Сайков. Там же, 24, 429 (1968).

## Установка для изучения переноса радиоактивных продуктов по сечению твэла

А. В. СУХИХ, В. К. ШАШУРИН, Е. Ф. ДАВЫДОВ, М. И. КРАПИВИН

УДК 621.039.548

При исследовании твэлов после облучения хорошо зарекомендовали себя методы  $\gamma$ -спектрометрии с применением полупроводниковых детекторов. Дальнейшим развитием этих методов является  $\gamma$ -сканирование по диаметру твэла [1—2].

Изучение миграции осколков деления в топливных композициях при различных тепловых нагрузках, распределение делящихся изотопов по диаметру твэла, эксперименты по обнаружению вероятного переноса элементов оболочки в горячее, определение границы расплавленной зоны по распределению тугоплавких осколков деления в керамических твэлах — вот неполный перечень задач, которые могут быть решены с помощью спектрометрического сканирования шлифа твэла.

Установка для исследования процессов переноса радиоактивных изотопов по радиусу твэлов состоит

из механизма перемещения шлифа твэла перед отверстием коллиматора и гамма-спектрометра.

Механизм перемещения шлифа (рис. 1) представляет собой координатный столик с двумя степенями свободы, помещенный в бокс типа Б-50. Отсчет перемещения в горизонтальной и вертикальной плоскостях осуществляется с помощью индикаторов с ценой деления 0,01 мм. Шлиф перемещается относительно сменного свинцового коллиматора длиной 300 мм. Диаметр отверстия коллиматора может меняться в пределах 0,25—4 мм.

Полупроводниковый гамма-спектрометр с Ge(Li)-детектором расположен со стороны передней стенки бокса около коллиматора. Для уменьшения  $\gamma$ -фона детектор окружен слоем свинца толщиной 50 мм.

Образец исследуемого твэла, представляющий собой цилиндр высотой 1—2 мм с двумя плоскопараллельными поверхностями, помещается на подложку

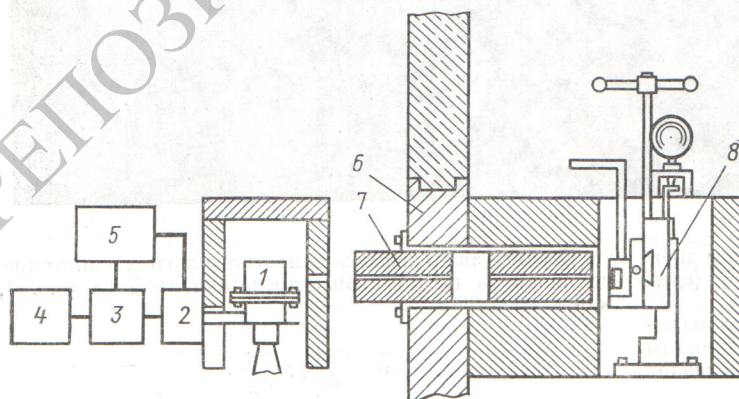


Рис. 1. Блок-схема установки для  $\gamma$ -сканирования по диаметру твэла:

- 1 — полупроводниковый Ge(Li)-детектор в криостате; 2 — предусилитель; 3 — усилитель-экспандер; 4 — анализатор АИ-128; 5 — блоки питания; 6 — защитная стенка бокса; 7 — коллиматор; 8 — механизм перемещения образца.