

Применение полупроводникового гамма-спектрометра для изучения некоторых характеристик керамических ТВЭЛОВ

Е. Ф. ДАВЫДОВ, А. В. СУХИХ, В. Н. СЮЗЕВ, В. И. ИВАНОВ

УДК 621.039.548

Тепловыделяющие элементы с керамическим сердечником находят все более широкое применение в ядерных реакторах. Однако известно, что вероятность существенных структурных изменений в сердечниках таких ТВЭЛОВ больше, чем у других, например дисперсионных. Из-за неточного знания необходимых для

расчета конструкций ТВЭЛА констант наиболее часто выбирается путь облучения различных экспериментальных вариантов ТВЭЛОВ с последующим их исследованием. При этом особое внимание уделяется таким процессам, как перенос массы горючего по радиусу и высоте, перераспределение осколков деления, образование новых фаз и т. п. Эксперименты обычно ведутся классическими методами: металлографическим и рентгеноструктурным анализом, радиохимическими приемами и т. д.

В последнее время широкое распространение получают методы γ -спектрометрии [1]. С помощью простой аппаратуры эти методы позволяют производить большое количество измерений в сравнительно короткое время без механического воздействия на исследуемый объект. Последнее обстоятельство весьма важно, так как дает возможность запечатлеть истинное состояние того или иного участка ТВЭЛА без искажающей результаты измерений обработки. Методы γ -спектрометрии используются при дефектоскопии оболочек или сердечника, определении плотности и выгорания горючего, изучения распределения осколков деления [2] и особенностей кинетики выхода осколочных газов при нагреве и т. д. Дальнейшее расширение возможностей спектрометрии связано с внедрением полупроводниковых детекторов γ -излучения, обладающих высокой разрешающей способностью. Ниже описана спектрометрическая установка с таким детектором и на нескольких примерах показаны практические результаты ее применения.

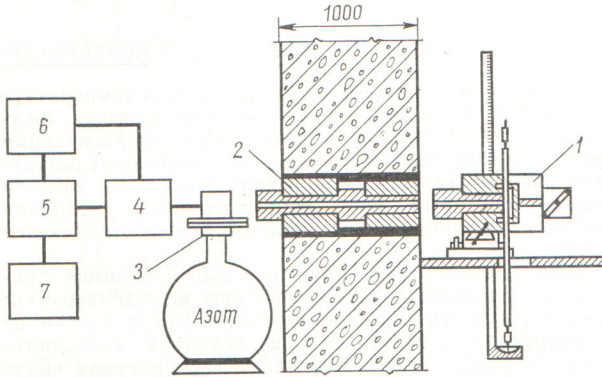


Рис. 1. Блок-схема гамма-спектрометра: 1 — механизм перемещения исследуемого объекта; 2 — коллимирующее устройство; 3 — полупроводниковый детектор в криостате; 4 — предусилитель; 5 — основной усилитель-экспандер; 6 — блоки питания спектрометра; 7 — многоканальный анализатор типа АИ-128.

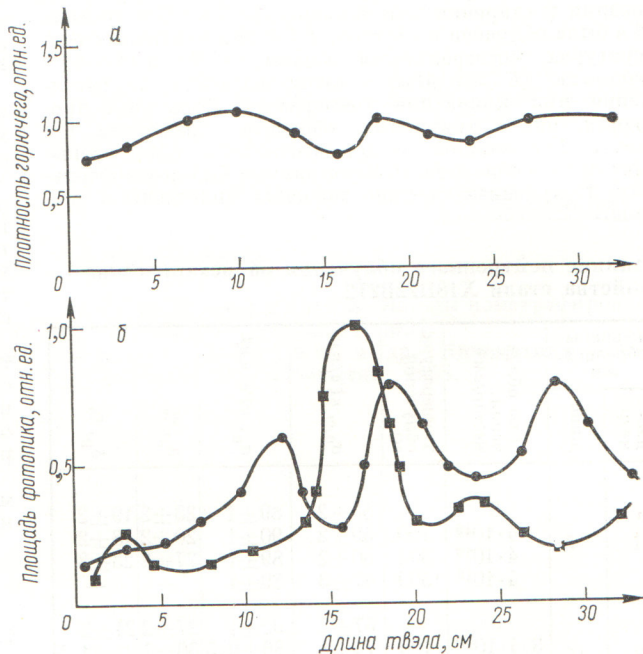
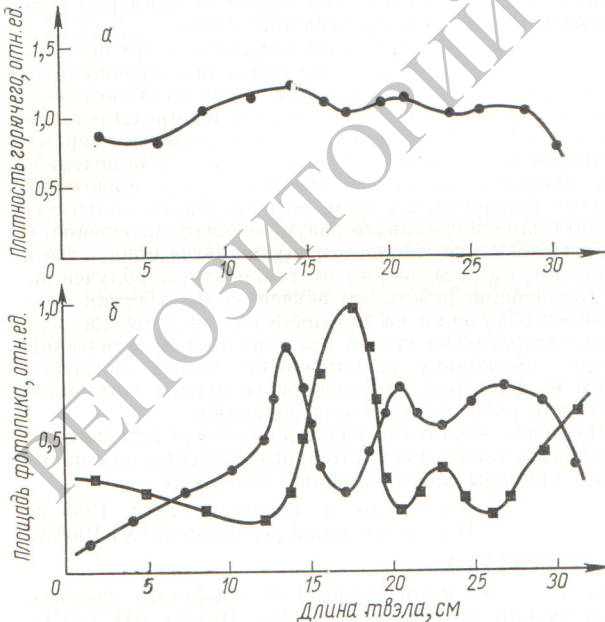


Рис. 2. Распределение плотности топлива (а) и продуктов деления (б) Cs^{137} (■) и $Zr^{95} + Nb^{95}$ (●) в первом ТВЭЛЕ.

Рис. 3. Распределение плотности топлива (а) и продуктов деления (б) Cs^{137} (■) и $Zr^{95} + Nb^{95}$ (●) во втором ТВЭЛЕ.

Полупроводниковый гамма-спектрометр, предназначенный для исследования облученных изделий, показан на рис. 1. В спектрометре используется полупроводниковый Ge (Li)-детектор с толщиной чувствительности 8 мм, имеющий разрешение по линии Cs¹³⁷ 6 кэв. Коллимирующее устройство позволяет варьировать величиной потока γ -квантов от облученных твэлов (геометрические размеры коллимирующего отверстия могут изменяться в пределах $5 < \varnothing < 20$ мм; длина канала коллиматора 1500 мм).

Устройство для фиксации и перемещения изделий позволяет с помощью манипуляторов дистанционно определить у коллиматора любую часть исследуемого объекта. Зарядный преусилитель имеет собственные шумы 2,5 кэв + 0,05 С. Линейный усилитель с формированием в виде двойного RC-дифференцирования и однократного RC-интегрирования имеет коэффициент усиления $k = 1500$. Экспандер построен по методу линейного токового ключа. Интегральная линейность переходной характеристики экспандера в 98% диапазона лучше 1%, стабильность порога лучше 5 мв/град С.

С помощью спектрометра были изучены некоторые физические характеристики экспериментальных ампул из двуокиси урана в оболочке из нержавеющей стали, облученных в твэлы виброуплотнением до достижения плотности $7-7,5$ г/см³ равномерно по всему элементу. Температура на оболочке достигала 500—600° С. Максимальный тепловой поток с поверхности составлял $2,5 \times 10$ ккал/м²·ч.

После облучения были изучены перераспределение плотности горючего по высоте ампулы (плотность топ-

лива определялась γ -методом [3]) и миграция некоторых осколочных элементов. На рис. 2 и 3 показаны полученные результаты. Дано распределение плотности топлива и осколков деления Cs¹³⁷ и Zr⁹⁵ + Nb⁹⁵ по высоте твэлов, по которым можно судить о некоторых деталях поведения горючего. В частности, заметна четко проявляющаяся тенденция к неравномерности плотности горючего по высоте. Следствием этого является различный уровень температуры в разных участках топлива, влияющий на величину концентрации осколков деления.

Все максимумы концентрации Cs¹³⁷ хорошо совпадают с минимумами кривых плотности. Это свидетельствует о четко выраженной миграции цезия в зоны с более низкой температурой, в то время как кривая распределения Zr⁹⁵ + Nb⁹⁵ качественно совмещается с кривой распределения плотности, т. е. с количеством деления в единице объема.

Поступило в Редакцию 17/IX 1968 г.
В окончательной редакции 24/XII 1968 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. А. Столярова. Прикладная спектрометрия ионизирующих излучений. М., Атомиздат, 1964.
2. О. А. Миллер, А. М. Демидов, Б. С. Далахматова. «Атомная энергия», 23, 124 (1967).
3. В. А. Арцибашев. Гамма-метод измерения плотности. М., Атомиздат, 1965.

К вопросу о перегреве жидкого натрия

В. Ф. ПРИСНЯКОВ

УДК 621.039.514.4

Освоение технологии изготовления быстрых реакторов потребовало решения ряда новых проблем. Одна из важнейших проблем — исследование процессов, предшествующих аварийным ситуациям. Во многих случаях таким процессом является кипение теплоносителя в каналах реактора, в частности жидких металлов — теплоносителей быстрых реакторов. Первая задача, которую предстоит решить, — это определение температуры начала кипения, ибо жидкие металлы обладают рядом свойств, которые требуют для появления кипения значительных перегревов теплоносителя по отношению к его температуре насыщения. Значения этого перегрева можно найти в работах советских и зарубежных авторов [1—7], однако эти данные существенно различаются.

Хотя в работах [3—6] получено большое число экспериментальных точек, значительный разброс отдельных значений перегрева жидкого натрия не позволяет установить определенные закономерности. Попытки искать зависимость перегрева от теплового потока положительных результатов практически не дали, так как опытные данные различных авторов, как правило, противоречивы. Хорошие результаты по обобщению перегревов различных органических веществ были получены в работах [8, 9], где приведенная температура перегретой жидкости $\bar{T}' = T'/T_{кр}$ представлена в виде зависимости от приведенного давления $\bar{p}_s = p_s/p_{кр}$ ($T_{кр}$ и $p_{кр}$ — критические параметры).

Нами были обработаны усредненные значения перегревов жидкого натрия, полученные в работах

[1, 3—6], и по ним построен график $\bar{T}' = \bar{T}'_{кр}(\bar{p}_s)^*$ (см. рисунок). Из рисунка следует, что все экспериментальные точки, за исключением точек работы [5], ложатся на одну кривую. Можно отметить также, что графические зависимости перегревов натрия от тепловых потоков, представленные в работе [3], противоречат данным работ [1] и [4]. В то же время результаты, полученные в работах [1, 3, 4, 6] при различных тепловых потоках, в представленных координатах удовлетворительно располагаются вокруг некоторой общей кривой (кривая 1). Эту кривую в рассматриваемом диапазоне изменения \bar{p}_s можно представить степенной зависимостью

$$\bar{T}' = 0,825 \bar{p}_s^{0,08}.$$

Значения перегревов, приведенные в работе [5], несколько завышены, но кривая, проведенная по средним значениям (кривая 2), эквидистантна полученной выше и может быть аппроксимирована аналогичной степенной зависимостью, но с другим постоянным коэффициентом, равным 0,865, что, возможно, свидетельствует о каком-то систематическом отклонении экспериментальных точек.

В заключение отметим, что в работе [8] экспериментальные точки для органических веществ, полученные в диапазоне $\bar{p}_r = 0,02 \div 0,8$, ложатся на пря-

* При расчете критические температуры и давление для жидкого натрия принимались равными 2124° К и 116 атм согласно работе [9].