

Рис. 1. Зависимость поправки к активности золота от параметра $(1 - \varepsilon_\beta)/\varepsilon_\beta$

Удельная активность ^{198}Au (A_T), обусловленная тепловыми нейтронами, для каждой фольги определяется по обычной формуле кадмевой разности, а искомая поправка на возмущение для каждой толщины фольги может быть вычислена из выражения

$$K = A_T/A_0, \quad (1)$$

где A_0 — удельная активность бесконечно тонкой фольги, соответствующая невозмущенной плотности потока тепловых нейтронов. A_0 можно определить путем экстраполяции имеющихся значений A_T к нулевой толщине фольги $t = 0$. Однако удобней экстраполировать к $t = 0$ $1/A_T$, так как в этом случае аппроксимирующая функция получается линейной и можно применить метод наименьших квадратов. Согласно работе [2], мы имеем:

$$K = \frac{A_T}{A_0} = \frac{\bar{\Phi}_0}{2\mu at} \frac{1 + \varepsilon}{1 + (\Phi_0/2)g}; \quad (2)$$

$$\frac{\bar{\Phi}_0}{2\mu at} \approx \frac{\Phi_0(\mu at)}{2\mu at}; \quad (3)$$

$$\Phi_0(\mu at) \approx \frac{2\mu at}{1 + 2\mu at} \quad (\text{для } \mu at < 1). \quad (4)$$

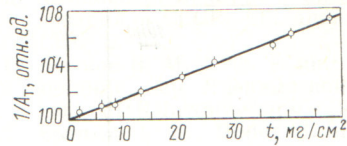


Рис. 2. Зависимость величины, обратной удельной активности золотой фольги, от толщины этой фольги

Подставив в уравнение (2) формулы (3) и (4), получим

$$1/A_T = (1/A_0) + Bt, \quad (5)$$

где t — толщина фольги; B — коэффициент пропорциональности.

С применением уравнения (5) результаты были обработаны методом наименьших квадратов (рис. 2). Получено значение A_0 с погрешностью 0,1%.

Таким образом, была определена поправка на возмущение плотности потока тепловых нейтронов золотыми фольгами в воде в условиях, часто встречающихся на практике, когда плотность потока меняется с изменением расстояния между источником и фольгой. При этом существенно снижена погрешность этой поправки. Так, например, для фольг толщиной 20 мкм (39 мг/см^2), чаще всего применяемых при измерениях потоков нейтронов на установке УЭН-3, она составляла 0,2%. Уменьшение погрешности этой поправки позволило существенно повысить точность абсолютного измерения потока нейтронов методом активации золотых фольг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Baerg A. «Metrologia», 1966, N 2, p. 23.
2. Бергуц К., Вирц К. Нейтронная физика. М., Атомиздат, 1968.

Поступило в Редакцию 26.06.79

УДК 621.039.66.667

Определение содержания лантана, церия, празеодима и неодима в растворах рентгеноспектральным методом на приборе СРФ-5

КРАСИЛЬНИКОВ И. М., СКОРОВА И. Д., ШОЛОМОВ А. В., КОНСТАНТИНОВ П. А., МАТЮШИН А. П.

Автоматическое регулирование процессов экстракционного разделения сложных смесей редкоземельных элементов (РЗЭ) предусматривает проведение экспрессного контроля содержания трех-четырёх различных РЗЭ на определенных этапах технологического процесса.

Для такого контроля был использован рентгеноспектральный метод [1]. Измерения проводили на рентгеновском флюоресцентном спектрометре СРФ-5 по K -серии характеристического излучения РЗЭ, так как малые значения энергии характеристического излучения L -серии ($4,6 - 7,6 \text{ эВ}$) существенно осложнили бы проведение экспресс-анализа [2]. Преимуществом использования характеристического излучения K -серии для анализа РЗЭ отмечались и ранее [3]. Чтобы избежать наложения «хвостов», при определении одного из РЗЭ (диапазон измеряемой концентрации $0,05 - 30 \text{ г/л}$, содержание суммы варьируется от 1 до 300 г/л) необходимо высокое разрешение спектрометрического устройства, которым и обладает прибор СРФ-5. Хотя СРФ-5 для учета матричного эффекта снабжен обтюрирующим устройством, позволяющим применить методик стандарт-фон, в данном случае ее использовать нельзя, так как удельная интенсивность сигнала и фона при вариациях состава матрицы изменяется неодинаково. Например, определение лантана, церия, празеодима по методу стандарт-фон приводит к отклонению результатов анализа от истинного значения на $35 - 55\%$. Изучение составляющих фонового излучения требует

отдельного рассмотрения. Однако сравнительно высокая энергия характеристического излучения K -серии лантана, церия, неодима, празеодима и близость их абсорбционных характеристик явились предпосылкой возможности введения поправок на результат измерения с помощью оценки изменения поглощающих свойств исследуемых проб и стандартных образцов.

Такая оценка проводится дополнительным сцинтилляционным счетчиком, регистрирующим узкий (диаметром $1,5 \text{ мм}$) пучок первичного излучения рентгеновской трубки и просвечивающим кювету с анализируемым раствором. Электрические сигналы от сцинтилляционного счетчика дискриминируются одноканальным амплитудным анализатором в области энергии $\sim 40 \text{ кэВ}$ и передаются на пересчетное устройство. Если учесть, что энергетическое разрешение сцинтилляционного счетчика с кристаллом NaI (Tl) (толщина 10 мм) $30 - 40\%$ для энергии $\sim 35 \text{ кэВ}$, то можно принять, что счетчик регистрирует излучение энергией $30 - 40 \text{ кэВ}$. В этот диапазон энергии попадает характеристическое излучение K_{α_1} -линий церия, лантана, празеодима, неодима. Таким образом, при помощи дополнительного счетчика определяется изменение поглощающих свойств исследуемых проб в области энергии характеристического излучения анализируемых элементов.

Продолжительность измерения интенсивности K_{α_1} -линий РЗЭ на СРФ-5 и дополнительного просвечивания со-

ставляют 2,5 мин и 40 с соответственно, т. е. общая продолжительность анализа не увеличивается.

Анализ растворов на содержание перечисленных РЗЭ проводили по одному стандартному образцу с известным содержанием каждого анализируемого элемента. Концентрацию определяемого РЗЭ в пробе вычисляли по формуле

$$C_{\text{опр}} = C_0 B \frac{I_{\text{пр}}}{I_0},$$

где $C_{\text{опр}}$ — концентрация определяемого элемента в пробе; C_0 — концентрация определяемого элемента в стандартном образце; B — отношение значений интенсивности излучения, прошедшего через пробу и стандартный образец, измеренное с помощью дополнительного сцинтилляционного счетчика; $I_{\text{пр}}$ — интенсивность K_{α_1} -линии определяемого элемента в изучаемой пробе; I_0 — интенсивность K_{α_1} -линии определяемого элемента в стандартном образце. Точность метода характеризуется полученным коэффициентом вариации (таблица). Нижний порог чувствительности определения концентрации лантана, церия, празеодима, неодима, вычисленный по критерию 3σ , равен 0,02 г/л.

Описанная методика была успешно применена в практике аналитической лаборатории и позволила осуществить без предварительной пробоподготовки экспрессный (время анализа ~ 5 мин) контроль содержания лантана, церия, неодима, празеодима в жидких продуктах экстракцион-

Коэффициент вариации при определении концентрации различных РЗЭ рентгеноспектральным методом с учетом матричных эффектов, %

Элемент	Концентрация, г/л	Коэффициент вариации	Элемент	Концентрация, г/л	Коэффициент вариации
Ce	27	4	Nd	0,62	3
La	13	5	Pr	3	3
Nd	8	3		0,22	6

ного разделения РЗЭ. Эта методика может быть использована для определения содержания других РЗЭ, в частности самария, европия и гадолиния, что обеспечивает экспрессный контроль всего технологического процесса разделения РЗЭ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барский С. М., Комяк Н. П. «Аппаратура и методы рентгеновского анализа», 1972, вып. 11, с. 76.
2. Рехколайнен Г. И., Косинов А. П. Там же, вып. 10, с. 134.
3. Бондаренко Г. В., Блохин М. А. «Заводск. лаборатория», 1967, № 4, с. 531.

Поступило в Редакцию 25.06.79

УДК 621.039.56

Аксиальная устойчивость ВВЭР-1000 при управлении с минимальным квадратичным отклонением

АФАНАСЬЕВ А. М., ТОРЛИН Б. З.

Высотная ксеноновая устойчивость нейтронного поля в ВВЭР-1000 при различном погружении стержней автоматического регулятора (АР) и при различном размещении датчиков изучалась в работе [1]. В этой работе приведены результаты изучения устойчивости реактора, снабженного помимо АР еще и регулятором высотного распределения (РВР) на основе дополнительного регулирующего стержня (РС) или специального укороченного поглощающего стержня (УСП). Для управления РВР использовали или специальную ионизационную камеру (ИК), вырабатывающую сигнал разбаланса, который приводит в движение РС, или две ионизационные камеры, сигнал разности которых вызывал перемещение УСП. Поскольку для управления высотным полем ВВЭР-1000 можно использовать информацию многочисленных датчиков, интересно проанализировать, как это скажется на устойчивости реактора.

Анализ проводили с помощью усовершенствованной программы ПРИНА [2, 3], позволившей вычислить функции влияния каждого РС или УСП на нейтронное поле, а также рассчитывать комплексные значения частот ксеноновых колебаний в широком диапазоне изменения их действительных частей. В расчетах использовались те же параметры реактора, что и в работе [1], и также было сделано некоторое отступление от расчетных значений [4] отрицательных мощностных коэффициентов реактивности (α_L — локального и α_{II} — интегрального) для уменьшения их абсолютных значений. Вызванное этим снижение устойчивости сделало реактор более чувствительным к изучаемым воздействиям и позволило более определенно отмечать тенденции в поведении нейтронного поля при изменении числа или положения датчиков.

Устойчивость реактора будем характеризовать временем затухания T наименее устойчивой (первой) аксиальной собственной моды [2]. Во всех рассмотренных приме-

рах процесс затухания носил колебательный характер. Период колебаний мало изменялся от варианта к варианту и в среднем составлял 33 ч (с разбросом ± 5 ч). Алгоритм работы стержней определялся требованием выполнения условия

$$\sum_{i=1}^M a_{ji} \varphi_i = 0, \quad j = 1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

где M и N — соответственно число датчиков и стержней; φ_i — отклонение нейтронного потока от стационарного значения в месте установки i -го датчика; a_{ji} — весовые множители. Можно показать, что $\min \sum_{i=1}^M \varphi_i^2$, т. е. минималь-

Таблица 1

Значения T при оптимальном управлении с помощью АР и УСП, ч

α_L	α_{II}	$M = 3$	$M = 4$	$M = 8$	$M = 3^*$
-0,005	-0,0045	17,2	11,2	11,3	29,0
-0,035	0	17,9	11,0	10,6	55,2
-0,002	0	23,1	12,4	10,7	-36,4**

* Здесь и в табл. 2 датчики размещены на 1/3, 1/2 и 2/3 высоты активной зоны.

** Здесь и в табл. 2 время разгона колебаний нейтронного поля.