

выносу ПК и по размерам поверхностей конденсатопитательного и парового трактов турбин с учетом эффективности очистки на фильтрах), г/ч; $G_{ц.к}$ — поступление ПК железа с поверхности циркуляционного контура, г/ч; p — расход реакторной воды на очистку (продувку), т/ч; $D_{ц}$ — паропроизводительность реактора, т/ч; $C_{пр}$, $C_{п}$ — определяемая концентрация (или нормируемое содержание) ПК железа в реакторной воде и насыщенном паре соответственно, г/т; μ_1 и μ_2 — эффективность удаления ПК железа фильтрами внутриконтурной очистки и конденсатоочистки соответственно; $V_{ц.к}$ — объем циркуляционного контура реактора, м³; γ — плотность воды при нормальных условиях, т/м³; ω — постоянная осаждения ПК железа на поверхность циркуляционного контура реактора, ч⁻¹.

Входящая в приведенное уравнение постоянная ω определяет кинетику осаждения и зависит от теплофизических и гидравлических процессов в теплоносителе. Для определения ω при стационарных и переходных режимах были использованы эксплуатационные и экспериментальные данные, полученные для действующих отечественных энергетических и полупромышленных установок и АЭС с кипящим реактором. Оказалось, что, если отношение объема к поверхности у циркуляционного контура кипящего реактора составляет 0,014—0,054 м, то во всех случаях значение ω одинаково и равно $(53 \pm 8) \cdot 10^{-2} \text{ ч}^{-1}$. Найденная таким образом постоянная осаждения автоматически учитывает влияние многих процессов и факторов, в связи с чем может использоваться при проектировании одноконтурных установок типа РБМК, внося при этом погрешность не более $\pm 15\%$.

При стационарных режимах работы установки расход реакторной воды на очистку, зная ω , можно оценить по приведенному уравнению. При переходных режимах работы этот расход воды определяется из условия:

$$p/V\gamma \geq \omega, \quad (2)$$

откуда $p \geq V\omega\gamma$. Одинаковые значения ω для стационарного и переходного режимов работы данной установки позволяют дополнительно проанализировать уравнение (1). Левая часть уравнения для каждого режима работы остается постоянной. В правой части уравнения слагаемое

$C_{п}D_{п\mu_2}$ зависит от рабочих параметров и в какой-то степени от сепарационных устройств. На слагаемое $C_{пр}V_{ц.к}\omega$ не влияет режим работы установки, поскольку значение ω остается неизменным. Следовательно, воздействовать на данное слагаемое не представляется возможным. Остается слагаемое $pC_{пр}\mu_1$, которое и определяет количество ПК железа в объеме контура. При этом можно либо увеличивать расход реакторной воды на установку контурной очистки, что вызовет увеличение капитальных и эксплуатационных затрат, либо увеличивать концентрацию ПК железа в расходимой для очистки воде. Последнее осуществимо путем изменения мест забора и вывода этой воды. При стационарных режимах работы такими местами являются застойные зоны с относительно низкой скоростью циркуляции, причем может быть осуществлено систематическое «обегание» этих зон.

Весьма существенно (до 50 раз) возрастает концентрация ПК железа в переходные периоды работы, которые должны максимально использоваться для выведения этих продуктов из контура. В данном случае, по-видимому, необходимо увеличивать и расход воды на очистку теплоносителя, поскольку повышенная концентрация ПК в контуре сохраняется непродолжительно ($\sim 2-2,5$ ч). Кроме того, в эти периоды целесообразно искусственно взмучивать ПК, например, изменяя скорость циркуляции путем переключения насосов.

Предлагаемые рекомендации уже учтены в проекте реактора РБМК-450. В переходные периоды увеличенный объем воды, расходимой на очистку, должен проходить только через механические фильтры, а объем воды, поступающей на ионообменные фильтры, может оставаться таким же, как при стационарном режиме. Следует подчеркнуть, что значительное количество взвешенных ПК железа в застойных зонах контура объясняется их поступлением с питательной водой, поскольку конденсатоочистка располагается непосредственно после турбины. Одна из мер борьбы заключается в очистке питательной воды на намывных ионообменных фильтрах, отличающихся большей эффективностью и способных работать при повышенной температуре.

Поступило в Редакцию 4.11.77
В окончательной редакции 18.06.79

УДК 621.039.51

Коэффициенты реактивности материалов в размножающих средах с $K_{\infty} \approx 1$

ДУЛИН В. А., КАЗАНСКИЙ Ю. А., МАМОНТОВ В. Ф.

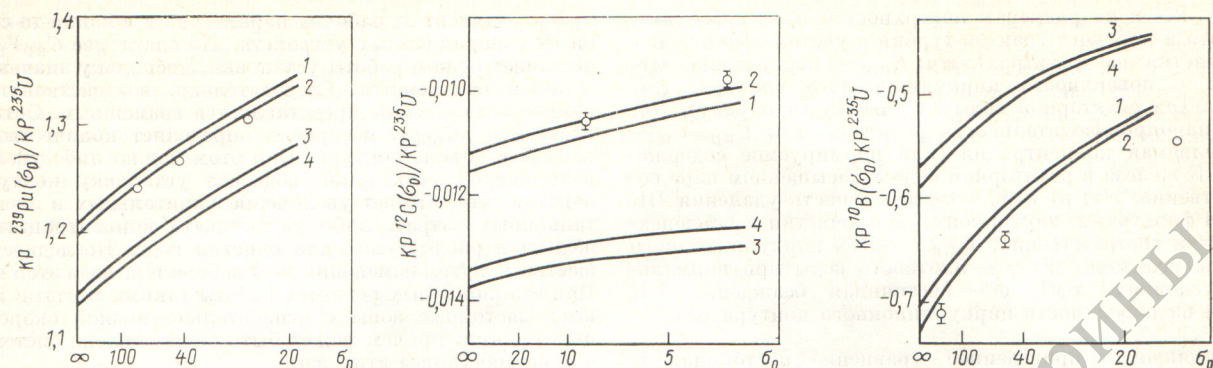
Использование интегральных характеристик, измеренных на критических сборках, для проверки и корректировки ядерных данных имеет смысл в том случае, если условия эксперимента адекватно описываются расчетной моделью.

Интегральные эксперименты на критических сборках БФС показали [1], что расчет с использованием системы констант БНАБ-70 [2, 3] неудовлетворительно описывает коэффициенты реактивности (КР) типичных поглощающих, рассеивающих и делящихся элементов. Представляло интерес изучить КР в сборках, расчет которых может быть сделан с минимальными погрешностями, обусловленными идеализацией пространственных расчетов. Таким условиям удовлетворяли сборки БФС-31-4, 33-2 и 35-1, центральные части которых имели составы, обеспечивающие $K_{\infty} \approx 1$ [4], достаточно большие размеры и сравнительно мало выраженную гетерогенную структуру. Наблюдаемые расхождения эксперимента и расчета в этом случае обусловлены константной составляющей погрешности расчета.

Сборка БФС-35-1 состояла из металлического урана с обогащением 5,61%, являясь повторением сборки

SNEAK-8 [5]. Сборка БФС-33-2 состояла из окиси урана с обогащением 8,35%, в сборке БФС-31-4 окись ^{235}U была заменена на металлический ^{239}Pu . Измерения КР проводились в центре сборок с образцами различных размеров. Результаты измерений являются усредненными по гетерогенной структуре сборок в пределах центральной ячейки (4—6 см). На рисунке приведены измеренные КР для образцов из ^{239}Pu , ^{10}B и ^{12}C различных размеров, которые представлены в виде отношений к КР ^{235}U нулевых размеров. Анализ отношений КР (ОКР) позволяет исключить ошибки пространственных расчетов и подчеркнуть константную составляющую погрешностей расчета. Размеры образцов на рисунке характеризуются значением $\sigma_0 = 1/nl$, где n — ядерная плотность образца; $l = 4V/S$ — его средний геометрический размер; V — объем; S — поверхность образца.

Расчеты проводились по программе М-26 [6] в P_1 -приближении с использованием системы констант БНАБ-70 и ее модификации ОСКАР-76 [7]. Учитывалось влияние гетерогенной структуры сборок на ОКР [8, 9]. Учет конечных размеров образцов проводился методами, описанными



Отношение коэффициентов реактивности ^{239}Pu , ^{12}C и ^{10}B к коэффициенту реактивности ^{235}U в сборке БФС-31-4: 1 и 2 — расчет по ОСКАР-76 для гомогенной и гетерогенной модели; 3 и 4 — расчет по БНАБ-70 для гомогенной и гетерогенной модели; $\circ$ — эксперимент

в работах [1, 10]. На рисунке представлены результаты этих расчетов для реальной структуры сборки (БФС-31-4) и ее гомогенной модели. Для других сборок расчетная разница между гомогенной и гетерогенной моделями на порядок меньше. Для ^{12}C зависимость КР от размеров образца обусловлена в основном влиянием разблокировки окружающей среды, которое учитывалось в расчетах [11]. Как видно из рисунка, зависимость ОКР от размеров хорошо описывается расчетами, как это и отмечалось ранее [4].

с результатами эксперимента. Это не удивительно, так как результаты экспериментов на сборках БФС-31 и БФС-33 использовались в процессе создания этой версии [7]. Таким образом, расхождения между рассчитанными и измеренными ОКР типичных делящихся, поглощающих и рассеивающих элементов объясняются наличием константной составляющей погрешности расчета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дулин В. А. и др. «Атомная энергия», 1976, т. 40, вып. 5, с. 377.
2. Абагян Л. П. и др. Групповые константы для расчета ядерных реакторов. М., Атомиздат, 1964.
3. Абагян Л. П. и др. Препринт ФЭИ-325. Обнинск, 1974.
4. Кузин Е. Н. и др. Препринт ФЭИ-698. Обнинск, 1976.
5. Darrouzet M., Chandat J., Fisher E. In: Proc. on Intern. Symp. on Physics of Fast Reactors. Tokyo, 16—19 Oct. 1973, v. 1, p. 537.
6. Николайшвили Ш. С. и др. В кн.: Труды трехсторон. сов.-белг.-гол. симп. по некоторым проблемам физики быстрых реакторов. М., изд. ЦНИИатоминформ, 1970, т. 1, с. 192.
7. Усачев Л. Н. и др. В кн.: Труды конф. «Нейтронная физика». М., изд. ЦНИИатоминформ, 1977, ч. IV, с. 27.
8. Дулин В. А. В кн.: Ядерные константы. Вып. 21. М., Атомиздат, 1976, с. 126.
9. Дулин В. А. «Атомная энергия», 1978, т. 45, вып. 2, с. 107.
10. Дулин В. А., Мамонтов В. Ф. Препринт ФЭИ-392. Обнинск, 1973.
11. Горбатов Н. Е. и др. [7], т. 2, докл. Д36.

Поступило в Редакцию 30.01.78

Сравнение результатов измерений и расчетов ОКР

Сборка БФС	ОКР	Эксперимент	Расчет	
			БНАБ-70	ОСКАР-76
31-4	$^{239}\text{Pu}/^{235}\text{U}$	$1,192 \pm 0,015$	1,133	1,197
	$^{10}\text{B}/^{235}\text{U}$	$-0,74 \pm 0,02$	-0,590	-0,725
	$^{12}\text{C}/^{235}\text{U}$	$-0,0114 \pm 0,0005$	-0,0134	-0,0112
32-2	$^{239}\text{Pu}/^{235}\text{U}$	$1,260 \pm 0,015$	1,220	1,257
	$^{10}\text{B}/^{235}\text{U}$	$-0,895 \pm 0,015$	-0,733	-0,890
	$^{12}\text{C}/^{235}\text{U}$	$-0,0042 \pm 0,0003$	-0,0082	-0,0045
35-1	$^{239}\text{Pu}/^{235}\text{U}$	$1,49 \pm 0,02$	1,413	1,475
	$^{10}\text{B}/^{235}\text{U}$	$0,52 \pm 0,03$	-0,409	-0,452
	$^{12}\text{C}/^{235}\text{U}$	$-0,0226 \pm 0,0010$	-0,0218	-0,0238

В таблице приведены результаты расчетов ОКР, полученные по теории возмущений первого порядка (на рисунке это значения ОКР при $\sigma_0 = \infty$). Поправки на гетерогенную структуру сборок внесены в расчет. Расчеты с использованием ОСКАР-76 значительно лучше согласуются

УДК 539.172.3

Сопоставление сечений образования ^{115}Cd и ^{140}Ba при фотоделении ^{235}U , ^{238}U , ^{237}Np и ^{239}Pu

ГАНИЧ П. П., ЛОМОНОСОВ В. И., СИКОРА Д. И.

При исследовании процессов фотоделения трансурановых элементов представляет интерес знание выходов и сечений фотообразования осколков симметричного и асимметричного деления в зависимости от энергии γ -квантов. В настоящее время в работах [1—4] опубликованы данные по выходам продуктов фотоделения в максимуме и минимуме массового распределения осколков (или их отноше-

ние) как функции максимальной энергии фотонов для ядер ^{235}U , ^{238}U , ^{237}Np и ^{239}Pu . Для этих нуклидов в работах [1] приведены также сечения фотоделения в области гигантского резонанса.

Наличие таких данных позволило рассчитать полный выход осколков деления, выходы осколков ^{140}Ba и ^{115}Cd (нормированные к одному падающему на тормозную ми-