

с большим сечением упругого рассеяния (железо, никель) при расчете составляющей коэффициента реактивности вследствие упругого замедления нужно использовать выражение (1) с $d_j(l) = 1$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казанский Ю. А. и др. Методы изучения реакторных характеристик на критических сборках БФС. М., Атомиздат, 1977.

2. Дулин В. А., Мамонтов В. Ф. Препринт ФЭИ-392. Обнинск, 1973.
 3. Голубев В. И. и др. — In: Proc. Intern. Symp. on Fast Reactor Physics 1979. V. 1. Vienna, IAEA, 1980, rep. IAEA-SM-244/79, p. 207.
 4. Абагян Л. П. и др. — Атомная энергия, 1980, т. 48, вып. 2, с. 117.

Поступило в Редакцию 23.06.80

УДК 621.039.515

Исследование различных органов СУЗ на критической сборке

БУТЕ В. В., КРУЗЕ У. А., ЛИЕПА Э. Л., ПЛАТАЦИС Э. Я., ТОМСОНС Э. Я.

Одно из устройств для регулирования реактивности реактора — жидкометаллический регулятор (ЖМР) [1]. Принцип его работы заключается в изменении соотношения объемов жидких металлов с различным сечением поглощения нейтронов в органе регулирования, размещенном в эффективном пространстве активной зоны. Так как в последние годы на ядерно-энергетических установках все шире применяются системы жидкостного регулирования [2], то интересно исследование характеристик указанного устройства. В связи с этим на критической сборке проведены эксперименты в целях определения основных рабочих характеристик ЖМР и сравнения их с характеристиками других регуляторов, в частности стержня, поворотного цилиндра (ПЦ) и торцового отражателя (ТО).

В экспериментах использовали ЖМР с органом регулирования, выполненным в виде плоской камеры определенных размеров. Толщину слоя поглотителя нейтронов (легкоплавкого эвтектического расплава InGaSn) изменяли в пределах 0—5 мм. Стержень компенсирующего органа (КО) СУЗ изготовлен из диоралюминиевой трубки диаметром 20 мм [3], заполненной карбидом бора, а стержень автоматического регулятора (АР) — из трубки нержавеющей стали X18H10T. Конструкция ПЦ сборная. Он состоит из бериллиевого цилиндра наружным диамет-

ром 114 мм, на поверхности которого установлен сегмент с углом 120° , изготовленный из поглотителя нейтронов толщиной 5 мм. Бериллиевый цилиндр с поглотителем помещен в чехол из нержавеющей стали [4]. Регулирующий торцовый отражатель активной зоны сборки выполнен из водо-алюминиевого состава (25% по объему алюминия) [3].

Регуляторы исследовали на критической сборке, являющейся моделью водо-водяного реактора. Активная зона сборки состояла из твэлов реактора ИРТ типа ТВС-2М (рис. 1) с топливом в виде высокообогащенного урана [3]. Масса ^{235}U в активной зоне сборки — 1,35 кг, отношение концентрации ядер водорода к ^{235}U равно 400. Боковой отражатель сборки изготовлен из блоков металлического бериллия толщиной 136—204 мм.

Для сравнения органов СУЗ изучали непроизводительное поглощение ими нейтронов, изменение интегральной и дифференциальной реактивности и характер процесса ее изменения. Эффективность органов СУЗ в сборке оценивали по методу установившегося периода разгона мощности реактора.

Некоторые затруднения при изучении характеристик регуляторов были связаны с размещением последних в различных местах активной зоны. Так, стержневые органы СУЗ помещали в ТВС-2М вместо центрального извлекаемого твэла, а ЖМР и ПЦ — в бериллиевом боковом отражателе (см. рис. 1). В свою очередь, характеристи-

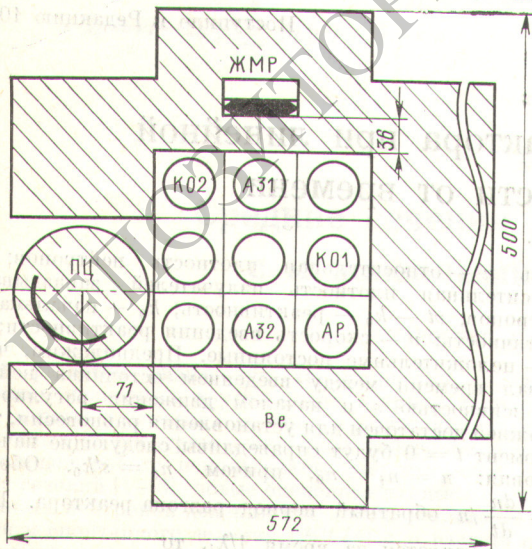


Рис. 1. Картограмма критической сборки: А31, А32 — стержни аварийной защиты; КО1, КО2 — стержни-компенсаторы; АР — стержень регулятора

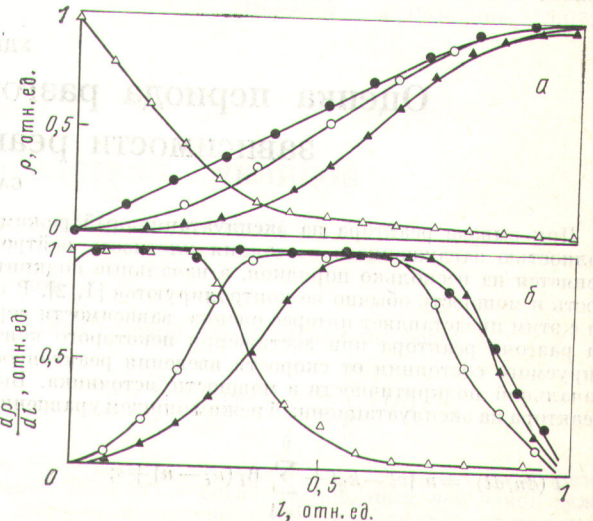


Рис. 2. Интегральные (а) и дифференциальные (б) характеристики органов СУЗ: ● — ЖМР; ○ — АР; ▲ — ПЦ; △ — ТО

Некоторые характеристики органов СУЗ

Орган СУЗ	$\rho, \beta_{эф}$	$d\rho/dt, \beta_{эф}/мм$	$\alpha_{лин} = \frac{\Delta\rho_{лин}}{\rho}$	$\alpha = \frac{l_1}{l}$	$\alpha_{п} = \frac{\rho_{п}}{\rho}$
ЖМР	$0,56 \pm 0,03$	$0,130 \pm 0,01$	0,71	0	0,68
АР	$0,69 \pm 0,04$	$0,002 \pm 0,0002$	0,50	0,34	0,88
КО1	$3,02 \pm 0,18$	$0,010 \pm 0,001$	0,40	0,38	0,22
КО2	$2,72 \pm 0,16$	$0,008 \pm 0,0008$	0,48	0,35	0,23
ПЦ	$1,20 \pm 0,07$	$(0,013 \pm 0,001) \beta_{эф}/град$	0,39	0,53	2,25
ТО	$0,45 \pm 0,03$	$0,010 \pm 0,001$	0,67	0,75	0

ки ТО изучали при изменении толщины слоя воды от 76 до 88 см от центра активной зоны (средняя высота слоя урана в ТВС 580 мм [3]). Результаты исследования органов СУЗ приведены в таблице. Одним из показателей качества органов СУЗ является отношение линейного участка эффективности $\Delta\rho_{лин}$ к полной эффективности ρ органа, т. е. $\alpha_{лин} = \Delta\rho_{лин}/\rho$. Особое значение $\alpha_{лин}$ имеет при разработке автоматического регулятора, когда наиболее важно, чтобы эта величина была близка к единице.

Как показал эксперимент, линейное изменение реактивности регулятором ЖМР достигается практически сразу после включения привода (рис. 2). Это свойство целесообразно использовать в системах аварийной защиты, где ввод отрицательной реактивности с самого начала должен происходить с максимальной скоростью.

Для количественной оценки этого свойства можно использовать отношение $\alpha = l_1/l$, где l_1 — перемещение органа для достижения максимальной дифференциальной эффективности $d\rho/dt$; l — полное перемещение.

Известно, что потери реактивности ($\rho_{п}$) из-за органов СУЗ обусловлены непроизводительным поглощением нейтронов конструкционными элементами органа СУЗ. Эти потери могут быть охарактеризованы отношением $\rho_{п}$ к полной эффективности органа ρ , т. е. $\alpha_{п} = \rho_{п}/\rho$. Для регулятора ЖМР $\alpha_{п}$ складывается из потерь нейтронов, вызванных некоторым изменением состава отражателя и поглощением их в конструкционных материалах ($0,22 \pm 0,02$) $\beta_{эф}$, а также из поглощения нейтронов в вытеснителе — расплаве GaSn ($0,15 \pm 0,02$) $\beta_{эф}$ и в тонкой пленке расплава InGaSn ($0,01 \pm 0,001$) $\beta_{эф}$, прилишей к стенкам конструкционных материалов органа

регулирования. Для стержня, расположенного, как правило, в активной зоне, $\alpha_{п}$ определяется суммарными потерями нейтронов, связанными с удалением центрального твэла и замедлителя нейтронов (воды). Относительно большое $\alpha_{п}$ (см. таблицу) характерно для ПЦ, что в основном обусловлено конструкционными материалами, в частности, нержавеющей сталью. При регулировании отражателем потери реактивности практически отсутствуют, т. е. $\alpha_{п} = 0$.

На основании результатов экспериментов можно отметить, что основные характеристики ЖМР соответствуют характеристикам других регуляторов, а некоторые из них, в частности, линейность кривой изменения реактивности и быстрдействие начального ввода реактивности в реактор, значительно лучше.

Представленная методика сравнения различных типов регуляторов достаточно точно отражает качественную связь их параметров на критической сборке и может быть использована также для других реакторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Платацис Э. Я. и др. — Атомная энергия, 1975, т. 39, вып. 5, с. 358.
2. Емельянов И. Я., Ионайтис Р. Р., Рабичев В. А. — Атомная техника за рубежом, 1976, № 11, с. 3.
3. Томсонс Э. Я. и др. — Атомная энергия, 1976, т. 40, вып. 5, с. 420.
4. Красин А. К. и др. — Атомная энергия, 1969, т. 27, вып. 5, с. 386.

Поступило в Редакцию 10.07.80

УДК 621.039.512

Оценка периода разгона реактора при линейной зависимости реактивности от времени

САБАЕВ Е. Ф.

При выводе реактора на эксплуатационный режим из полностью заглушенного состояния плотность нейтронов меняется на несколько порядков, а начальные подкритичность и мощность обычно не контролируются [1, 2]. В связи с этим представляет интерес оценка зависимости периода разгона реактора при достижении некоторого контролируемого состояния от скорости введения реактивности, начальной подкритичности и мощности источника. Вывод реактора на эксплуатационный режим опишем уравнениями

$$l \left(\frac{dn}{dt} \right) = n [vt - k_0] + \sum_{i=1}^6 \beta_i (n_i - n) + s; \quad (1)$$

$$dn_i/dt = -\lambda_i [n_i - n]; \quad i = 1, 2, \dots, 6.$$

Здесь n — относительная плотность нейтронов; n_i — относительная плотность излучателей запаздывающих нейтронов; $vt - k_0$ — реактивность; k_0 — начальная подкритичность; v — скорость введения реактивности; l, β_i, λ_i — положительные постоянные. Предположим, что интервал времени между введением источника нейтронов интенсивностью s и началом движения регулирующих стержней достаточен для установления равновесия, так что в момент $t = 0$ будут справедливы следующие начальные условия: $n = n_i = n_0$, причем $n_0 = s/k_0$. Обозначим $p = \frac{dn}{dt}/n$ обратный период разгона реактора. Если p мало изменяется за время $1/\lambda_i$, то

$$n_i = \frac{\lambda_i}{p + \lambda_i} n. \quad (2)$$