

Таблица 2

Характеристики реакторов, оптимальных по времени удвоения

Исходные данные	Уровень исходных ограничений		
	консервативный	математического ожидания	вероятностный (95%)
Диаметр твэлов, мм	6,8	7,2	6,9
Относительный шаг в решетке твэлов	1,178	1,161	1,159
Высота активной зоны, см	100	96	98
Радиус активной зоны, см	168	164	164
Высота торцевого экрана, см	30	45	33
Толщина бокового экрана, см	39	58	45
Число твэлов в сборке	217	217	217
Толщина стенки сборки, мм	2,7	2,9	2,8
Высота газовой полости, см	66	32	50
Зазор между сборками, мм	5,5	2,6	4,0
Температура натрия на входе в реактор, °С	367	353	356
Тепловая мощность, МВт	3990	4140	4080
Электрическая мощность, МВт	1600	1600	1600
Коэффициент воспроизводства	1,20	1,35	1,29
Критическая масса плутония, кг	4050	3200	3410
Время удвоения, год	12,3	7,8	9,9

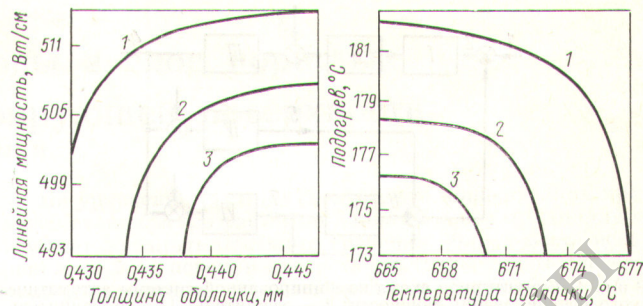


Рис. 2. Зависимости между характеристиками активной зоны, оптимальными по времени удвоения, при различной вероятности их реализации: 1 — $\gamma = 95\%$, $T_2 \approx 9,6$ года; 2 — 97% , 10 лет; 3 — 99% , 10,3 года

неопределенности оптимальных проектных решений нелинейно зависит от соответствующей области неопределенности исходных ограничений (рис. 1).

При выборе проектного решения для каждого сочетания исходных ограничений могут быть найдены различные технические варианты решения, имеющие практически одинаковое значение целевой функции. Возможные комбинации характеристики активной зоны, оптимальные по T_2 , при различной вероятности реализации иллюстрирует рис. 2. По мере уточнения некоторых исходных ограничений область оптимальных проектных решений может быть расширена путем ослабления оставшихся ограничений за счет ужесточения уточненных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Илюнин В. Г. и др. В кн.: Сборник докладов по программам и методам расчета быстрых реакторов. Димитровград, изд. НИИАР, 1975, т. 39, вып. 4, с. 269.
2. Кузьмин А. М. «Атомная энергия», 1975, т. 39, вып. 4, с. 269.
3. Кузьмин А. М., Силаев Ю. В. В кн.: Физика ядерных реакторов. Вып. 5. М., Атомиздат, 1977, с. 54.
4. Карабасов А. С., Усынин Г. Б. В кн.: Методы математического моделирования и комплексной оптимизации энергетических установок в условиях неполной определенности исходной информации. Иркутск, изд. СО АН СССР, 1977, с. 117.
5. Усынин Г. Б., Сенников А. А. «Атомная энергия», 1973, т. 35, вып. 1, с. 25.
6. Прошкин А. А. и др. Препринт ФЭИ-593. Обнинск, 1975.

Поступило в Редакцию 04.06.79
В окончательной редакции 14.01.80

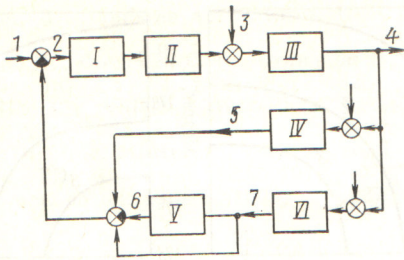
УДК 621.039.566

Исследование работы автоматического регулятора мощности реактора Первой АЭС с введением коррекции от внутрореакторных датчиков

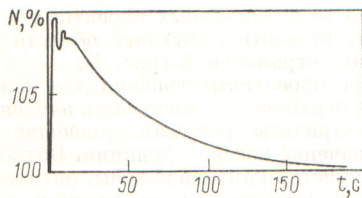
ПОТАПЕНКО П. Т., САРЫЛОВ В. Н., ВОСКРЕСЕНСКИЙ Ф. Ф., ДУНАЕВ В. Г., ШУЛЕГИН А. П.

Эффективность ионизационных камер (ИК) как датчиков системы автоматического регулирования мощности больших энергетических реакторов снижается экранировкой камер регулируемыми стержнями, значительными изменениями энергораспределения при изменении мощности и особенно пространственной нестабильностью энерго-

распределения. В то же время наличие на энергетических реакторах развитой системы внутрореакторного контроля (ВРК) на базе детекторов типа ДПЗ (детектор прямого заряда) позволяет избежать этих недостатков и, кроме того, повысить точность и надежность регулирования мощности за счет массовости измерений.



Р и с. 1. Структурная схема комбинированной системы автоматического регулирования мощности: I — усилитель; II — исполнительный механизм; III — реактор; IV — ДПЗ; V — фильтр с передаточной функцией ДПЗ; VI — ИК; 1 — установка; 2 — сигнал управления; 3 — возмущение по реактивности; 4 — мощность; 5 — сигнал ДПЗ; 6 — сигнал $N_{ИК-ДПЗ}$; 7 — сигнал ИК



Р и с. 2. Переходный процесс регулирования мощности при различных показаниях ДПЗ и ИК

В работе [1] приводятся алгоритмы управления мощностью реактора CANDU, учитывающие пространственное распределение потока нейтронов с помощью безынерционных платиновых и инерционных (корректирующих) ванадиевых детекторов.

В работе [2] рассмотрены вопросы расчетного обоснования применения только родиевых ДПЗ в составе системы автоматического регулирования мощности реакторов Первой АЭС. Экспериментальные исследования показали, что для улучшения помехоустойчивости системы регулирования необходимо применять дополнительную фильтрацию сигнала. Это объясняется тем, что использование корректора, дифференцирующего сигнал ДПЗ, с одной стороны, улучшает динамические свойства системы регулирования, а с другой — ухудшает ее помехозащищенность при работе в нормальных и аварийных ситуациях.

В приведенных расчетных исследованиях рассмотрен вариант автоматического регулирования мощности реактора с применением калировки тока ИК по сигналам внутризонных детекторов типа ДПЗ. Достоинством такого способа является сочетание положительных качеств штатного регулятора мощности (быстродействие) и системы ВРК (точность и надежность) за счет использования внешних и внутризонных датчиков.

Сигнал управления мощностью формируется в соответствии с уравнением

$$\delta = \frac{N_0 - [(N_{ИК} + N_{ДПЗ}) - N_{ИК-ДПЗ}]}{N_0},$$

где N_0 — сигнал задания.

Как следует из алгоритма управления, сигнал ионизационных камер $N_{ИК}$ суммируется с сигналом ДПЗ системы ВРК $N_{ДПЗ}$. При этом существенное различие инерционности детекторов характеризуется тем, что в начале переходного процесса мощность реактора определяется сигналом ИК, а стационарное состояние — сигналами ДПЗ. Вычитание из суммарного сигнала $N_{ИК} + N_{ДПЗ}$ сигнала ИК, умноженного на передаточную функцию фильтра, совпадающую с передаточной функцией ДПЗ ($N_{ИК-ДПЗ}$), приводит к тому, что по мере роста сигнала

ДПЗ вклад ИК в суммарный сигнал уменьшается и в конце переходного процесса равен нулю (рис. 1).

Для расчетов качества регулирования использовались исходные данные и математическая модель системы регулирования мощности реактора Первой АЭС, приведенные в работе [2]. В математическую модель входит описание нейтронной кинетики в точечном приближении с двумя группами запаздывающих нейтронов, обратной связи по температуре топлива, детекторов ДПЗ и ИК, а также других звеньев системы регулирования мощности реактора.

Расчетные исследования комбинированной системы регулирования проводились для статического и динамического режимов при одинаковых и различных сигналах, поступающих с детекторов ДПЗ и ИК. Из приведенного уравнения видно, что при внесении в реактор возмущения по реактивности система регулирования быстро компенсирует возмущение по сигналам ИК, а затем приводит мощность в соответствие с уставкой по показаниям ДПЗ. Наибольший интерес представляет рассмотрение переходных процессов при неодинаковом изменении показаний ИК и ДПЗ, измеряющих мощность реактора, вследствие изменения энергораспределения или экранировки камер.

Предположим, что изменение мощности за счет внешних или внутренних возмущений сопровождается значительным изменением энергораспределения (высотного или радиально-азимутального), в результате чего мощность реактора, измеренная с помощью ДПЗ и ИК, может существенно различаться. При расчетах это изменение моделировалось внесением различных возмущений (отклонений мощности от уставки) по каналам ДПЗ и ИК.

На рис. 2 представлен переходный процесс регулирования мощности реактора, при котором подаются одновременно два различных возмущения по измерительным каналам: на детекторы ИК 10% N_0 , а на детекторы ДПЗ — 0%. Подобная ситуация может возникнуть, например в результате изменения только высотного энергораспределения при постоянной мощности реактора, приводящего к смещению максимума энергораспределения и изменению показаний камер. При этом, как видно из рис. 2, вначале происходит быстрая отработка возмущения по показаниям ИК со скоростью, определяемой вносимой стержнями СУЗ реактивностью, в результате чего мощность увеличивается примерно до 110%, а затем уменьшается до номинального значения приблизительно за время (~ 200 с), определяемое инерционностью ДПЗ.

Анализ переходного процесса на номинальной мощности при выходе из строя одной из четырех ИК при отсутствии блокировки регулятора по превышению мощности показывает, что всплеск мощности достигает 125%, а затем мощность возвращается к номинальному значению примерно за 200 с. Таким образом, в отличие от штатной структуры автоматического регулятора мощности стационарное значение мощности реактора устанавливается при обрыве одной из камер на уровне 100%.

Расчетные исследования показывают, что комбинированная система регулирования мощности реактора сочетает высокую точность, обусловленную большим числом внутризонных детекторов ДПЗ, и высокое быстродействие, свойственное регуляторам, работающим от безынерционных внезонных детекторов нейтронов. Эти достоинства делают целесообразным применение описанного алгоритма для регулирования мощности больших энергетических реакторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Потапенко П. Т., Дунаев В. Г., Кузнецов Н. А. «Атомная техника за рубежом», 1977, № 12, с. 3.
2. Сарылов В. Н., Воскресенский Ф. Ф., Шулкин А. П. «Атомные электростанции», № 2. М., «Энергия», 1978, с. 153.

Поступило в Редакцию 23.07.79
В окончательной редакции 29.12.79