

приготовлением смеси очищали и осушали на специальной установке.

На рис. 4 приведена типичная временная зависимость изменения давления в процессе работы экспериментальной установки. Начальное давление в циркуляционной системе составляло 110 мм рт. ст. Суммарная мощность подводимой к лампам электрической энергии была равна 340 вт.

В результате экспериментов выяснилось, что при фотохимическом взаимодействии водорода с кислородом с образованием воды дейтерий накапливается в остатке не полностью прореагировавшего газа с коэффициентом разделения  $2,3 \pm 0,4$ . При проведении опытов в течение 2—3 ч коэффициент обогащения увеличивался от 1,965 до 2,36.

Таким образом, в рассматриваемом случае коэффициент обогащения имеет существенно большие значения, чем при фотохимическом разделении изотопов водорода с помощью ртутной лампы низкого давления. В связи с этим описанный способ разделения изотопов водорода может быть применен для концентрирования дейтерия.

В заключение авторы выражают благодарность Г. В. Никольской, В. Н. Чибис и В. В. Бараеву за помощь в изготовлении экспериментальной установки и проведении экспериментов.

Поступило в Редакцию 17/X 1972 г.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Pertel R., Gunning H. *Canad. J. Chem.*, 1947, v. 26, p. 219.
2. Басов Ю. Г. «Атомная энергия», 1972, т. 32, с. 842.
3. Утиров Б. У. и др. «Атомная энергия», 1972, т. 32, с. 169.
4. Басов Ю. Г. Кандидатская диссертация. МГУ, 1968.
5. Салимова К. М. Кандидатская диссертация. МГУ, 1969.
6. Шупенева А. М. и др. Газоразрядная спектральная лампа. «Бюл. изобрет.», 1970, № 36, с. 82.

## Сопоставление двух алгоритмов аварийной защиты реактора при возмущениях по реактивности

А. А. САРКИСОВ, В. Н. ПУЧКОВ

УДК 621.039.566.8

Различие сопоставляемых алгоритмов аварийной защиты (АЗ) заключается в том, что в одном случае ограничения накладываются на текущее значение относительной мощности реактора  $N/N_0 \leq (N/N_0)^*$ , а в другом — на относительную скорость увеличения плотности нейтронов  $n(t)$ , т. е. на период разгона реактора:

$$T = \left[ \frac{1}{n(t)} \cdot \frac{dn(t)}{dt} \right]^{-1} = T^*$$

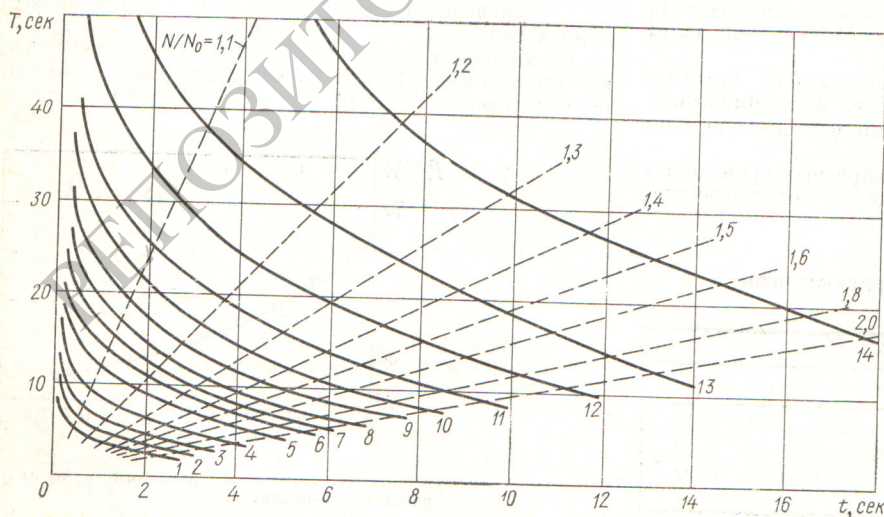
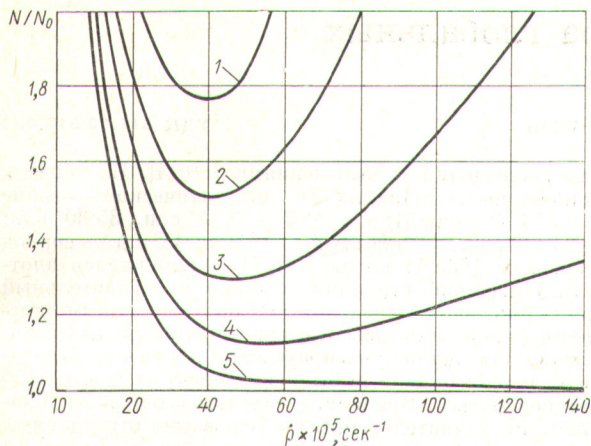


Рис. 1. Зависимость  $T$  и  $N/N_0$  от времени  $t$  при различных скоростях введения реактивности  $\rho$ :

1 —  $120 \cdot 10^{-5}$ ; 2 —  $100 \cdot 10^{-5}$ ; 3 —  $80 \cdot 10^{-5}$ ; 4 —  $60 \cdot 10^{-5}$ ; 5 —  $50 \cdot 10^{-5}$ ; 6 —  $40 \cdot 10^{-5}$ ; 7 —  $36 \cdot 10^{-5}$ ; 8 —  $32 \cdot 10^{-5}$ ; 9 —  $28 \cdot 10^{-5}$ ; 10 —  $24 \cdot 10^{-5}$ ; 11 —  $20 \cdot 10^{-5}$ ; 12 —  $16 \cdot 10^{-5}$ ; 13 —  $12 \cdot 10^{-5}$ ; 14 —  $8 \cdot 10^{-5} \text{ сек}^{-1}$ .



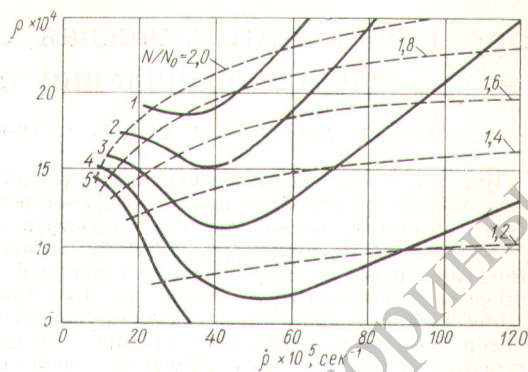
Р и с. 2. Граничные кривые для различных постоянных времени  $\tau$ :  
1 — 4 сек; 2 — 3 сек; 3 — 2 сек; 4 — 1 сек; 5 — 0 сек.

При математическом описании процесса использовались уравнения кинетики с шестью группами запаздывающих нейтронов. Параметры  $\beta$  и  $l$  выбирались в соответствии с рекомендациями [2] для реакторов рассматриваемого типа ( $\beta = 0,0064$ ;  $l = 5 \cdot 10^{-5}$  сек). Для упрощения описания не учитывалось пространственное распределение нейтронов и предполагалось справедливое одногрупповое представление спектра нейтронов. Кроме того, не учитывалась температурная обратная связь, так как задача исследования состояла в сопоставлении алгоритмов защиты для быстрых процессов при возможно большей скорости введения реактивности. Включение же в состав модели отрицательной температурной обратной связи смягчило бы условия эксперимента.

Исследование выполнено на электронной модели нейтронной кинетики реактора, реализованной на аналоговой вычислительной машине МН-14. Рассматривались только рабочие (непусковые) режимы работы реактора, когда в исходном состоянии  $N/N_{зад} = 1$  и  $\rho_0 = 0$ . Возмущения вводились путем изменения реактивности  $\rho$  по линейному закону с различными скоростями (от  $\dot{\rho} = 8 \cdot 10^{-5}$  до  $120 \cdot 10^{-5}$  сек $^{-1}$ ).

Исходные кривые, полученные на модели, представляют собой зависимости  $N/N_0 = f(\dot{\rho}, t)$  и  $T = \varphi(\dot{\rho}, t)$ . В обобщенном виде они изображены на рис. 1.

Используя полученные данные, можно сравнить быстродействие сопоставляемых каналов аварийной защиты. Вначале будем считать, что канал защиты по относительной скорости увеличения плотности нейтронов безынерционен ( $\tau = 0$ ). Тогда для любого заданного  $T^*$  на основании полученных на модели данных можно построить кривую, разделяющую поле графика на две области: область срабатывания защиты по  $N/N_0$  и область срабатывания защиты по  $T$ . На рис. 2 изображены такие кривые при  $T^* = 15$  сек. Если точки находятся под кривой, защита срабатывает только по сигналу о превышении заданного уровня мощности, если же над кривой — по сигналу о недопустимой относительной скорости увеличения плотности нейтронов. Так, при  $\dot{\rho} = 20 \cdot 10^{-5}$  сек $^{-1}$ , уставках  $T^* =$



Р и с. 3. Зависимость реактивности, вводимой к моменту срабатывания АЗ по сигналу  $T^* = 15$  сек, от скорости введения реактивности и постоянной времени  $\tau$ :

1 — 4 сек; 2 — 3 сек; 3 — 2 сек; 4 — 1 сек; 5 — 0 сек.

$= 15$  сек и  $(N/N_0)^* = 1,2$  во всех случаях защита срабатывает по сигналу превышения заданной мощности.

В действительности каналы измерения периода не могут быть безынерционными, так как используемый в них дифференцирующий усилитель принципиально не может иметь постоянную времени, равную нулю. Таким образом, возникает необходимость сравнить быстродействие каналов защиты при различных постоянных времени  $\tau$  дифференцирующей цепочки. Для рассматриваемого варианта ( $T^* = 15$  сек) такие кривые при  $\tau$ , равном 1, 2, 3 и 4 сек, изображены на рис. 2.

Для энергетических реакторов редко используется уставка по мощности  $(N/N_0) > 1,7$ . Из рассмотрения кривых на рис. 2 следует, что при  $\tau \geq 4$  сек для таких реакторов канал защиты по  $T$  во всех режимах, кроме пусковых, не нужен.

Полученные данные позволяют также ответить на вопрос о предпочтительном виде защитного воздействия при срабатывании АЗ по сигналу  $T^*$ . Если учесть, что  $\rho t = \rho$ , то для заданного  $T^*$  исходные зависимости могут быть представлены в виде  $\rho = \psi(\dot{\rho}, \tau)$ , как это показано, например, для  $T^* = 15$  сек, на рис. 3.

Анализируя кривые на рис. 3, можно заключить, что, когда канал защиты по относительной скорости увеличения плотности нейтронов оказывается более быстродействующим, сигнал на срабатывание защиты появляется при малых значениях реактивности. Следовательно, нет необходимости вводить в реактор «тяжелые» поглощающие стержни АЗ. Достаточно прекратить увеличение реактивности подачей сигнала, запрещающего извлечение поглотителей, или в случае необходимости ввести в реактор «облегченную» группу стержней аварийной защиты.

Поступило в Редакцию 18/X 1972 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Казачков В. И., Алпеев А. С. «Атомная энергия», 1971, т. 31, вып. 6, с. 627.
2. Keepin G. e. a. Phys. Rev., 1957, v. 107, p. 1044.