

О выделении газа в первом контуре водо-водяного реактора с газовыми компенсаторами объема

Н. В. БЫЧКОВ, А. И. КАСПЕРОВИЧ

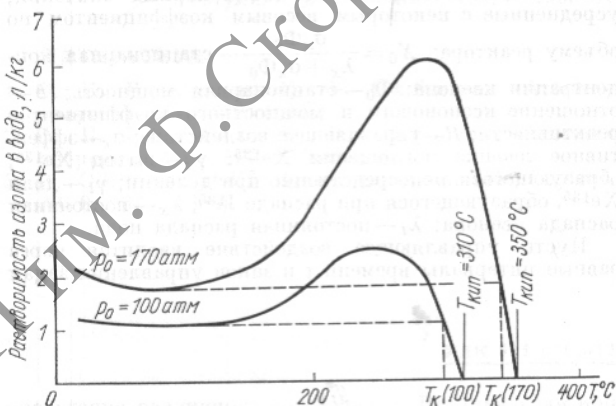
УДК 621.039.5:629.1

В работе В. С. Сысоева [1] решается вопрос об условиях выделения газа в первом контуре водо-водяного реактора с газовыми компенсаторами объема (КО). Автор вводит параметр Δt_n , разницу температур в точке системы и кипения воды при заданном общем давлении в контуре и утверждает, что растворимость газа прямо пропорциональна Δt_n .

Действительная зависимость растворимости газа (азота) в воде от температуры при постоянном общем давлении p_0 в гетерогенной системе газ — вода показана на рисунке. Она получена в результате расчета из приведенной в работах [2, 3] зависимости растворимости газа от его парциального давления p_r и температуры с учетом упругости паров воды p_n по формуле $p_0 = p_r + p_n$. Как видно, графики имеют сложный вид: минимум при температуре около 80°C для всех давлений и максимум, положение которого зависит от p_0 .

Только на участке, близком к температуре кипения, растворимость газа примерно прямо пропорциональна Δt_n . Предложенное автором условие отсутствия выделения газа в первом контуре ($T_{\text{ик}} \leq T_{\text{к0}}$) справедливо, если температура в КО выше температуры $T_{\text{к}}$ в такой точке на этом участке, где растворимость газа равна растворимости в минимуме. Следовательно, рекомендация автора сводится к необходимости поддержания температуры в КО, близкой к температуре кипения воды, что практически означает использование паровых КО.

Таким образом, в системах с газовыми КО очевидным условием минимального газовыделения в первом контуре является поддержание в КО температуры,



Зависимость растворимости азота в воде от температуры при $p_0 = p_r + p_n = \text{const}$.

равной $\sim 80^\circ\text{C}$, при этом условие отсутствия газовой выделения будет: $T_{\text{ик}} < T_{\text{к}}$.

Поступило в Редакцию 10/VIII 1969 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. С. Сысоев. «Атомная энергия», 26, 461 (1969).
2. H. Pray et al. Ind. Engng Chem., 44, 1146 (1952).
3. T. Andersen. Trans. Amer. Nucl. Soc., 10, 507 (1967).

К оценке области асимптотической устойчивости теплового реактора с дискретной системой управления

О. Б. РОНЖИН

УДК 621.039.514

Настоящая работа является продолжением исследования устойчивости распределения мощности в реакторах на тепловых нейтронах [1, 2]. В указанных работах на примере «точечной» модели реактора обосновывается целесообразность применения дискретных систем управления (в частности, ручного) для подавления пространственных ксеноновых колебаний мощности в реакторе.

Были рассмотрены случаи, когда шаг регулирования τ — постоянная величина на протяжении всего процесса регулирования и τ — случайная величина с заданным распределением плотности вероятности. В этих случаях закон регулирования оставался неизменным и заключался в том, что через момент времени τ происходит мгновенная полная компенсация любых отклонений мощности от стационарного значения. Как

известно, реальные системы регулирования способны компенсировать не любые отклонения мощности, а отклонения из некоторого конечного интервала $[\varphi_1, \varphi_2]$. В связи с этим представляет большой интерес оценка допустимых начальных отклонений переменных от их стационарных значений (области асимптотической устойчивости) и изучение зависимости ее размеров от параметров реактора и системы управления. Этому вопросу посвящена настоящая работа. Запишем исходную систему уравнений в виде

$$\frac{dy}{dt} = Ay + cR, \quad (1)$$

где $\tilde{y} = (i, x)$ — вектор состояния; элементы матрицы $A = \{a_{ij}\}$ равны соответственно $a_{11} = -\lambda_i$; $a_{12} = -\sigma_x b \gamma_i$; $a_{21} = \lambda_i$; $a_{22} = \sigma_x b (x_0 - \gamma_x) - \lambda_x - \sigma_x \Phi_0$; вектор $c = [-\sigma_x \gamma_i, \sigma_x (X_0 - \gamma_x)]$; x, i — отклонения концентрации ксенона и пода от их стационарных значений, усредненные с некоторым весовым коэффициентом по объему реактора; $X_0 = \frac{\sigma_x \Phi_0}{\lambda_x + \sigma_x \Phi_0}$ — стационарная концентрация ксенона; Φ_0 — стационарная мощность; b — отношение ксенонового и мощностного коэффициентов реактивности; R — управляющее воздействие; σ_x — эффективное сечение поглощения Xe^{135} ; γ_x — выход Xe^{135} , образующегося непосредственно при делении; γ_i — доля Xe^{135} , образующегося при распаде I^{135} ; λ_x — постоянная распада ксенона; λ_i — постоянная распада пода.

Пусть управляющее воздействие вводится через равные интервалы времени τ и закон управления задан

в виде

$$R(t) = \begin{cases} -bx(k\tau) & |x| < \bar{x}; \\ -b\bar{x} \operatorname{sign} x & |x| > \bar{x} \end{cases} \quad (2)$$

при $k\tau \leq t \leq (k+1)\tau$, $k=1, 2, \dots$. Здесь $|\varphi_1| = |\varphi_2| = |\bar{\varphi}|$; $\varphi_1 + \varphi_2 = 0$ и $\bar{\varphi} = -b\bar{x}$. Решение системы (1), (2) на интервале $[k\tau, (k+1)\tau]$ с начальными условиями

$$x(k\tau) = x_k, \quad i(k\tau) = i_k$$

принимает вид

$$y_{k+1} = e^{A\tau} y_k + (e^{A\tau} - E) A^{-1} c R, \quad (3)$$

где матрица $e^{A\tau}$ является оригиналом матрицы $(sE - A)^{-1}$; s — параметр преобразования Лапласа; E — единичная матрица.

Удобно перейти к новым переменным

$$y_k^* = y_k \frac{1}{x}$$

Тогда

$$y_{k+1}^* = e^{A\tau} y_k^* + (e^{A\tau} - E) A^{-1} c R \frac{1}{x}. \quad (4)$$

Отыскание области асимптотической устойчивости нулевого решения (1) и (2) эквивалентно нахождению области асимптотической устойчивости Ω нулевого решения системы нелинейных разностных уравнений (2) и (4). Для решения этой задачи можно использовать метод, предложенный в работе [3]. Согласно этому методу, область асимптотической устойчивости определенного класса систем нелинейных разностных урав-

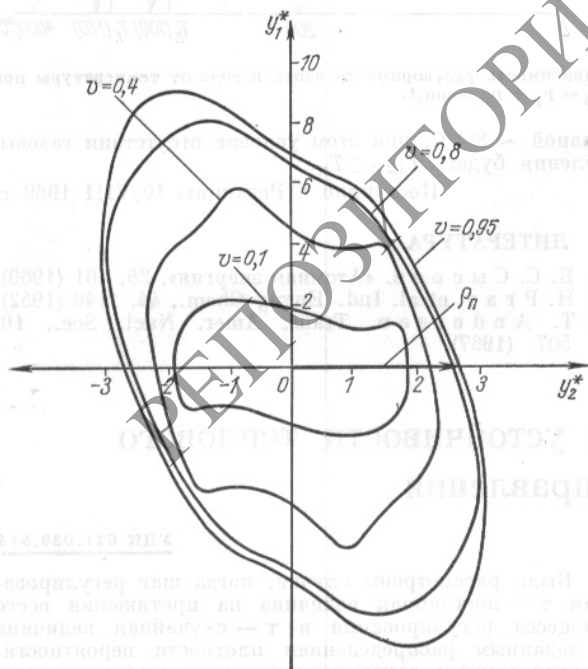


Рис. 1. Кривые $v = \text{const}$ при $\sigma_x b = 1$, $\sigma_x \Phi_0 = 0,3244$, $\tau = 1,8$ ($i = y_1^* x$, $x = y_2^* x$).

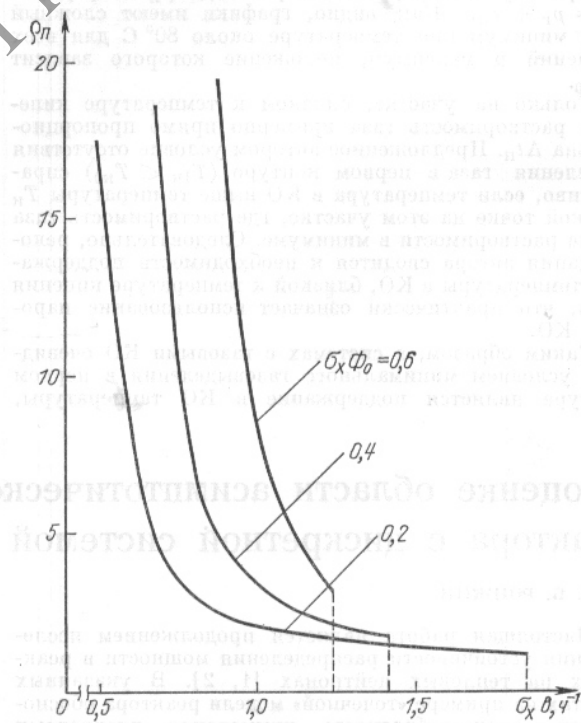


Рис. 2. Зависимость ρ_n от параметров $\sigma_x b$ и $\sigma_x \Phi_0$ при $\tau = 1,8$.

нений находится с помощью функции Ляпунова v , являющейся решением некоторого нелинейного разностного уравнения.

В работе [3] предложены три способа нахождения v . Два из них позволяют получить аналитическое выражение для v .

Однако они применимы лишь для небольшого подкласса систем с полиномиальным типом нелинейности. Третий приближенный способ, использованный в настоящей работе, является более общим. Каждой точке $y_k^* \in \Omega$ соответствует $v(y_k^*)$, определяемая формулой

$$v(y_k^*) = 1 - \frac{1 - v_e(y_{k+n+1}^*)}{\prod_{r=k}^{n+k} [1 + G(y_r^*)]}, \quad (5)$$

где $G(y^*)$ — некоторая положительно определенная квадратичная форма; $v_e(y^*) = \tilde{y}^* B y^*$. Симметричная матрица B определяется системой

$$\begin{aligned} \mathcal{P} B \mathcal{P} - B &= -C; \\ \tilde{y}^* C y^* &= G, \end{aligned} \quad (6)$$

где $\mathcal{P}$ — матрица коэффициентов линейного приближения системы (4). Точки y_k^* , которым соответствует $v(y_k^*) = 1$, принадлежат границе области асимптотической устойчивости. Решение задачи по этому методу

проводилось на ЭЦВМ М-20. Найденные кривые $v = \text{const}$ приведены на рис. 1.

В некоторых случаях удобно характеризовать область асимптотической устойчивости радиусом вписанного в нее круга — $\rho_{\text{п}}$. Зависимость этой величины от параметров системы приведена на рис. 2.

На основании приведенных построений можно сделать следующие выводы:

1. Величина $\rho_{\text{п}}$ практически не зависит от шага регулирования при изменении последнего в области допустимых значений.

2. В области реальных значений параметров $\sigma_x b^*$ и $\sigma_x \Phi_0$ величина $\rho_{\text{п}}$ в несколько раз превышает x , т. е. область допустимых начальных отклонений концентрации ксенона (а следовательно, и мощности) значительно превышает зону линейности регулятора.

Автор благодарит Е. Ф. Сабаяна за постановку задачи и критические замечания.

Поступило в Редакцию 15/IV 1969 г.

ЛИТЕРАТУРА

- О. Б. Ронжин, Е. Ф. Сабаяев. «Атомная энергия», 24, 269 (1968).
- О. Б. Ронжин, Е. Ф. Сабаяев. «Атомная энергия», 26, 377 (1969).
- R. O'Shea, IEEE Trans. on Automatic Control, AC-9, 62 (1964).

Точность приближения Вигнера

Ю. Г. ПАШКИН

Рациональное приближение Вигнера заключается в том, что асимптотическая вероятность вылета нейтрона из блока $1 - P_c$ заменяется простым выражением [1]:

$$1 - P_c = \frac{1}{1 + d \Sigma_t}, \quad (1)$$

где Σ_t — полное макроскопическое сечение материала блока; $d = \langle l \rangle = \frac{4V}{S}$ (символ $\langle \rangle$ означает усреднение по всем хордам l в блоке; P_c — асимптотическая вероятность столкновения в блоке для нейтронов, испытывавших предыдущее столкновение в блоке при равномерном распределении нейтронов по сечению блока. Величина P_c связана с вероятностью первого столкновения P_0 соотношением [2]

$$P_c = 1 - \frac{P_0}{d \Sigma_t}, \quad (2)$$

где $P_0 = (1 - e^{-l \Sigma_t})$. Из выражения (2) видно, что приближение (1) означает равенство вероятности первого столкновения и асимптотической вероятности столкновения. В этом легко убедиться, если принять в выражении (2) $P_0 = P_c$.

Удобство такого простого приближения заключается в том, что формула для эффективного резонансного интеграла $I_{\text{эфф}}$ в гетерогенном случае получается такой же, что и в гомогенном, только всюду сечение потенциального рассеяния Σ_p заменяется на $\Sigma_p + 1/d$. Следовательно, все блоки с одинаковой концентрацией поглотителя и одинаковыми значениями $\Sigma_p + 1/d$ с точки зрения величины $I_{\text{эфф}}$ эквивалентны независимо от диаметра блока и типа разбавителя, что упрощает

проведение различного рода оценок. Возникающая при этом ошибка в величине $I_{\text{эфф}}$ для узкого изолированного резонанса, имеющего брейт-вигнеровскую форму, при $h \gg 1$ (где $h = \Sigma_{r0}/\Sigma_p$, Σ_{r0} — сечение в пике резонанса), анализируется в монографии Л. Дреснера [1]. Для конечных значений h о величине этой ошибки можно судить по данным табл. 1, в которой приведены отношения эффективных резонансных интегралов, рассчитанных в приближении Вигнера, к точным значениям, рассчитанным на ЭВМ М-20 для нескольких значений h и $d \Sigma_p$.

Поскольку при использовании приближения Вигнера ошибка в величине эффективного резонансного

Ошибка в величине $I_{\text{эфф}}$ при использовании приближения Вигнера
($I^{(1)}/I_{\text{точн}}$)

Таблица 1

$d \Sigma_p$	$\lg h_0$				
	0	0,5	1,0	1,5	2,0
0,1	0,9859	0,9622	0,9228	0,8993	0,9069
0,5	0,9685	0,9426	0,9344	0,9418	0,9468
1,0	0,9716	0,9587	0,9602	0,9648	0,9668
1,5	0,9777	0,9714	0,9737	0,9769	0,9778
2,0	0,9827	0,9795	0,9815	0,9834	0,9846
2,5	0,9870	0,9849	0,9868	0,9875	0,9882