

Динамика топлива в импульсном реакторе. Температурные удары в стержнях из таблеток

В. Л. ЛОМИДZE

УДК 621.039.553.3

Рассматривается задача о быстром нагревании тонкого топливного сердечника длиной L , состоящего из большого числа упругих таблеток. Исследуется влияние динамики разлетающихся в результате температурного удара таблеток на кинетику импульсного реактора.

Быстро нагреваемый столбик таблеток до начала распада на составные части можно считать целым упругим стержнем, так как в течение этого времени он испытывает только напряжения сжатия (за счет инерции материала температурному расширению). Таблетка с координатой x оторвется со скоростью $v_j(x)$ от еще не распавшей части стержня в момент $t_j(x)$, когда напряжения сжатия в этой точке обратятся в нуль. Можно показать, что если в области непрерывности $t_j(x)$ выполняется условие

$$c \left| \frac{dt_j(x)}{dx} \right| \leq 1; \quad 0 \leq x \leq L, \quad (1)$$

т. е. скорость звука c в материале сердечника нигде не превышает скорости его распада, то для отыскания распределений $t_j(x)$ и $v_j(x)$ достаточно использовать решение задачи о напряжениях $\sigma(x, t)$ в целом стержне. Если столбик таблеток, покоящийся в начальный момент на жестком основании, нагревается по линейно-ступенчатому закону (т. е. $T(x, t) = T_0 \frac{t}{\tau}$ при $0 < t < \tau$ и $T(x, t) = T_0 = \text{const}$ при $t > \tau$), условие (1) выполняется всюду в указанной области и распределение скоростей таблеток по длине стержня принимает вид:

$$v_j(x) \equiv \frac{1}{\rho} \int_0^{t_j(x)} \frac{\partial \sigma(x, t)}{\partial x} dt = \begin{cases} 2\alpha T_0 \frac{x}{\tau}, & 0 \leq x \leq \frac{\tau c}{2} \\ \alpha c T_0, & \frac{\tau c}{2} \leq x \leq L \end{cases} \quad \tau \leq \frac{2L}{c};$$

$$\left. \begin{cases} 2\alpha T_0 \frac{x}{\tau}, & 0 \leq x \leq L, \\ \alpha c T_0, & \tau \geq \frac{2L}{c}, \end{cases} \right\} \quad (2)$$

где ρ — плотность топлива; α — коэффициент линейного расширения; T_0 — подогрев за время τ .

С учетом пространственной зависимости температуры, характерной для реакторов, форма $v_j(x)$ оказывается более сложной. Кроме того, в некоторой области, меньшей $[0, L]$, функция $v_j(x)$ находится приближенно, так как при неравномерном тепловыделении условие (1) выполняется не всюду в области непрерывности $t_j(x)$.

Информация о распределениях $t_j(x)$ и $v_j(x)$ позволяет оценить реактивность $\varepsilon(t)$, вносимую разлетающимися таблетками. Например, при одновременном подскоке всех таблеток вверх с начальным распределением скоростей $v_j(x) = \alpha c T_0 \frac{x}{L}$ указанную реактивность можно представить в виде:

$$\varepsilon(y) = \varepsilon_{\text{exp}} \frac{(\alpha c T_0)^2}{g} \begin{cases} y - \frac{1}{2} y^3, & 0 \leq y \leq 1; \\ 2y(1-y) + \frac{1}{2} y^3, & 1 \leq y \leq 2. \end{cases} \quad (3)$$

Здесь $g = 9,81 \text{ м/сек}^2$; $y = \frac{gt}{\alpha c T_0}$ и ε_{exp} — коэффициент реактивности по термическому расширению топлива. При выводе этой формулы предполагалось, что реактивность, вносимая при удалении единицы длины топливного стержня, линейно зависит от x^* . Если $\alpha = 1,4 \cdot 10^{-5} \text{ град}^{-1}$; $c = 3 \cdot 10^3 \text{ м/сек}$; $T_0 = 10^\circ \text{ С}$ и $\varepsilon_{\text{exp}} = -0,015 \text{ см}^{-1}$, экстремальное значение (3) будет равно $-0,0147$. Момент $y = 2$, когда реактивность (3) обращается в нуль, соответствует $0,0857 \text{ сек}$. При частоте 50 сек^{-1} расстояние между импульсами мощности $0,02 \text{ сек}$. Отсюда следует, что четыре следующих импульса реализованы не будут, так как мгновенная надкритичность, которая должна бы их вызвать, $\sim 10^{-3}$. Видно, что в таких условиях стабильная работа реактора невозможна. Кроме того, подобный режим недопустим и по условиям ядерной безопасности (особенно при низких частотах, когда существенно влияние температурного коэффициента реактивности).

(№ 682/7056). Статья поступила в Редакцию 28/VIII 1972 г., аннотация — 9/III 1973 г. Полный текст 0,8 а.л., 2 рис., 2 библиографические ссылки.)

* Randles J. J. Nucl. Energy, P. A/B, 1966, v. 20, № 1, p. 1—16.