Йодная яма

Уравнения для изменения концентраций йода и ксенона имеют вид:

$$\begin{cases} \frac{dJ}{dt} = \gamma_J \Sigma_f \varphi - \lambda_J J \\ \frac{dX}{dt} = \lambda_J J - \lambda_x X - \sigma_x \varphi X \end{cases} \quad (1)$$

Начальные равновесные условия:

$$J_0 = \frac{\gamma_J \cdot \Sigma_f \cdot \varphi_0}{\lambda_J} \quad (2)$$

$$X_0 = \frac{\gamma_J \cdot \Sigma_f \cdot \varphi_0}{\lambda_X + \gamma_{\text{x}c} \cdot \varphi_0}$$

Где

$$\sigma_\text{x} = 2 \cdot 10^6 \text{ барн} = 2 \cdot 10^{-18} \text{ см}^2$$

$$\lambda_\text{x} = 2{,}1 \cdot 10^{-5} \ \frac{1}{\text{с}}$$

$$\lambda_I = 2{,}8 \cdot 10^{-5} \ \frac{1}{\text{с}}$$

Равновесная концентрация ксенона:

$$X_{\text{равн}} = \frac{\Sigma_f \cdot \gamma_J \cdot \varphi_0}{\lambda_x + \sigma_x \cdot \varphi_0}$$

Для удобства все концентрации нормируются на равновесную концентрацию ксенона при бесконечно большом потоке нейтронов. Если $\varphi_0 \to \infty$, то $X_\infty = \frac{\Sigma_f \cdot \gamma_J}{\sigma_x}$.

Введем обозначения: $i = \frac{J}{X_\infty}$; $x = \frac{X}{X_\infty}$. Тогда система уравнений (1) с начальными условиями (2) примет вид:

$$\begin{cases} \frac{di}{dt} = \sigma_\text{x} \varphi - \lambda_J i \\ \frac{dx}{dt} = \lambda_J i - \lambda_x x - \sigma_x \varphi x \end{cases} \quad (3)$$

$$i_0 = \frac{\sigma_\text{x} \cdot \varphi_0}{\lambda_J}$$

$$x_0 = \frac{\sigma_\text{x} \cdot \varphi_0}{\lambda_X + \sigma_X \cdot \varphi_0}$$

Рассмотрим процесс полной остановки реактора $(\varphi = 0)$с различного уровня мощности, начиная от номинального уровня $\varphi = \varphi_0$ до $\varphi = \alpha\varphi_0$, где $0 < \alpha \leq 1$. В этом случае система уравнений (3) и начальные условия примут вид:

$$\begin{cases} \frac{di}{dt} = -\lambda_J i \\ \frac{dx}{dt} = \lambda_J i - \lambda_x x \end{cases} \tag{4}$$

$$i_0 = \frac{\sigma_x \cdot \alpha \cdot \varphi_0}{\lambda_J} \tag{5}$$

$$x_0 = \frac{\sigma_x \cdot \alpha \cdot \varphi_0}{\lambda_X + \sigma_X \cdot \alpha \cdot \varphi_0}$$

Решение системы уравнений (4) с начальными условиями (5) есть:

$$i(t) = i_0 \ell^{-\lambda_J t}$$

$$x(t) = \ell^{-\lambda_X t} \int_0^t \ell^{\lambda_X \tau} \lambda_J i(\tau) d\tau + x_0 \ell^{-\lambda_X t} = \frac{\sigma_x \cdot \alpha \cdot \varphi_0}{\lambda_X - \lambda_J} \left[\ell^{-\lambda_J t} - \ell^{-\lambda_X t}\right] + \frac{\sigma_x \cdot \alpha \cdot \varphi_0}{\lambda_X + \gamma_{xc} \cdot \alpha \cdot \varphi_0} \ell^{-\lambda_X t}$$

Это выражение можно записать через начальные условия:

$$x(t) = \frac{\lambda_J i_0}{\lambda_X - \lambda_J} \left[\ell^{-\lambda_J t} - \ell^{-\lambda_X t}\right] + x_0 \ell^{-\lambda_X t} \tag{6}$$

Результаты исследования находятся в файле EXCEL с аналогичным названием.

Номинальная плотность потока нейтронов $\varphi = 5 \cdot 10^{13} \frac{\text{н}}{\text{см}^2\text{с}}$ или $\varphi = ,8 \cdot 10^{13} \frac{\text{н}}{\text{см}^2\text{час}}$

Результаты расчетов представлены на рисунках.

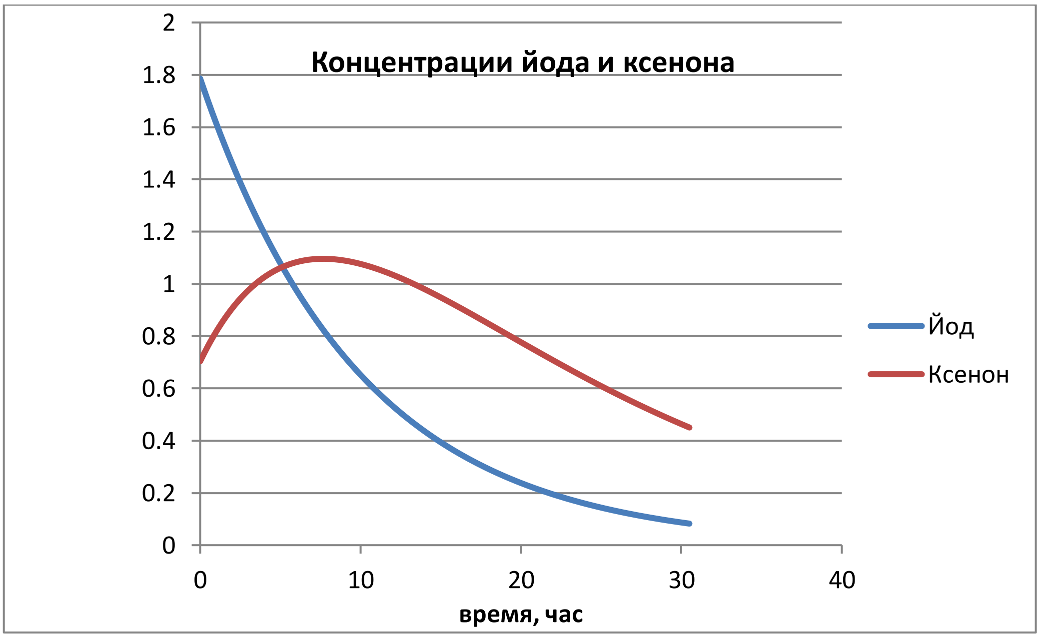

Рис. 1. Концентрации йода и ксенона при полной остановке с 50% уровня мощности от номинала.

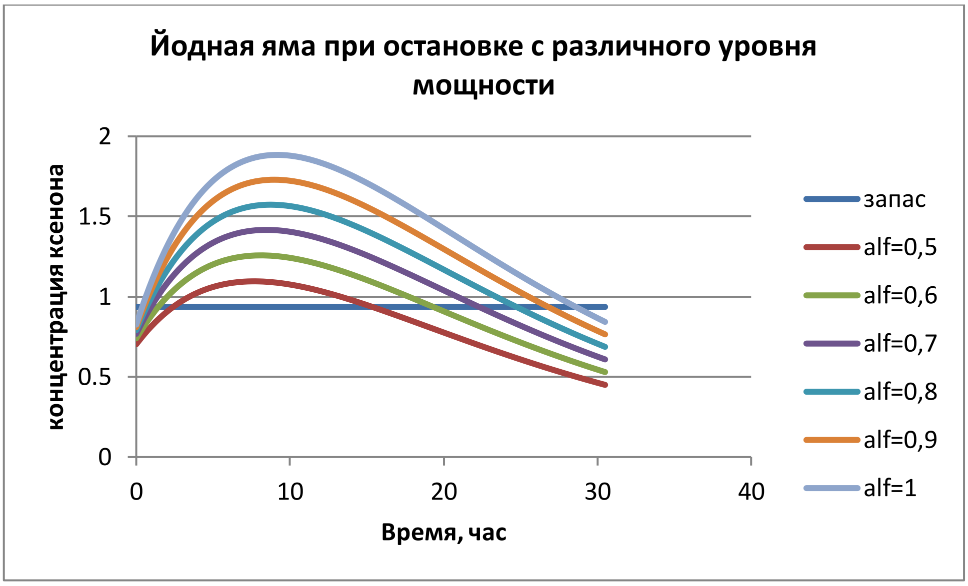

Рис.2. Изменение концентрации ксенона при остановке с различного уровня мощности.

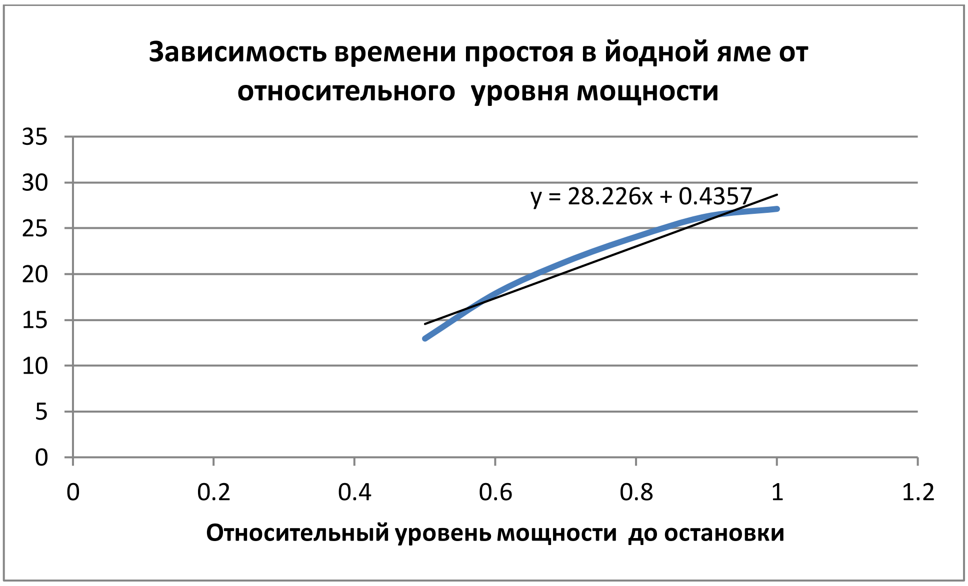

Рис.3. Время простоя в зависимости от уровня мощности до остановки.