

Wzór czteroczynnikowy pozwalający na wyznaczenie współczynnika powielania neutronów (k_∞) ma postać $k = \varepsilon p f \eta$, gdzie:

ε – wsp. rozszczępienia prędkiego

$$\varepsilon = 1.05$$

p – wsp. uniknięcia wychwytu rezonansowego

$$p = \exp\left(-\frac{1}{R} \frac{N_U}{N_M} \frac{l_{eff}}{(\xi \sigma_s)_m}\right)$$

f – wykorzystania neutronów termicznych

$$f = \frac{e \sigma_{a5} + (1-e) \sigma_{a8}}{e \sigma_{a5} + (1-e) \sigma_{a8} + R F \frac{N_m}{N_U} \sigma_{am}}$$

η – wsp. rozszczępienia neutronami termicznymi

$$\eta = \frac{\nu \sigma_{f5}}{\sigma_{a5} + \left(\frac{1-e}{e}\right) \sigma_{a8}}$$

Znaczenie wielkości użytych w powyższych wzorach jest następujące:

N_m, N_U – gęstości atomowe moderatora i uranu [at./cm³]

$\sigma_{a5} = 680b$, $\sigma_{f5} = 580b$, $\sigma_{a8} = 2.7b$ - przekroje czynne na absorbcję i rozszczępienie w U235 i 238

$\sigma_{aH} = 0.322b$ - przekrój czynny na absorbcję na wodorze

e – wzbogacenie

$\nu = 2.42$ – średnia ilość neutronów na rozszczępienie w 235U

$F = \phi_m / \phi_f$ – „disadvantage factor” – stosunek strumieni neutronów w moderatorze i paliwie, przyjmujemy jako stały, $F = 1.05$.

$R = V_m / V_f$ – „moderator to fuel ratio” – stosunek objętości moderatora i paliwa, przyjmujemy $R = 2$

l_{eff}, ξ, σ_s – przyjmujemy jako stałe

Gęstość wody w zakresie roboczym reaktora PWR (15.5 MPa, temperatury 280-340°C) przedstawic można następującą funkcją:

$$\rho = 5.7174647 - 4.8848544 \cdot 10^{-2} \cdot T + 1.66063811 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 1.9563571 \cdot 10^{-7} \cdot T^3$$

gdzie ρ [g/cm³] a T [°C]

Zależności temperaturowe przekrojów czynnych absorbcji przedstawic można następująco:

$$\sigma[T] = \sigma[T_0] \sqrt{\frac{T_0}{T}}$$

gdzie T [K]

Zadanie 5.1

Sterowanie reaktywnością w reaktorach PWR odbywa się również poprzez zmiany koncentracji boru w chłodziwie. Bor dodawany jest w postaci B(OH)₃, ale koncentracja podawana jest jako stosunek masy boru do masy wody. Bor naturalny składa się z dwóch izotopów: ¹⁰B ($\sigma_a = 3840b$) i ¹¹B (σ_a pomijalnie małe) w proporcjach ¼ i ¾.

1. Proszę wyznaczyć zależność współczynnika temperaturowego moderatora od koncentracji boru;
2. Czy uwzględnienie zależności temperaturowej przekroju czynnego absorbcji boru jest konieczne dla prawidłowego wyznaczenia temperaturowego współczynnika reaktywności?

Zadanie 5.2

Proszę wyznaczyć maksymalną koncentrację boru, przy której współczynnik temperaturowy moderatora zaczyna osiągać wartości dodatnie.

Zadanie 5.3

Zakładając liniowy spadek reaktywności w funkcji wypalenia oraz przyjmując limit koncentracji boru na poziomie 1500 ppm, proszę wyznaczyć maksymalną głębokość wypalenia paliwa bez stosowania shufflingu (1 przebieg) i w przypadku shufflingu po 1/3 paliwa (3 przebiegi).

Zadanie 5.4

Czy obniżenie mocy reaktora do poziomu 75% mocy nominalnej pod koniec przebiegu (batchu) pozwala na zwiększenie głębokości wypalenia, a jeśli tak, to o ile?

Zadanie 5.5

O ile zmieni się współczynnik wykorzystania neutronów termicznych (f), jeśli uwzględnimy wpływ ksenonu przy koncentracji równowagowej? Zakładamy stały strumień neutronów termicznych równy 3.5×10^{13} n/cm²s.