

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

$$\begin{aligned} \varepsilon - \text{wsp. rozszczepienia prędkiego} & \quad \varepsilon = 1.05 \\ p - \text{wsp. uniknięcia wychwytu rezonansowego} & \quad p = \exp\left(-\frac{1}{R} \frac{N_U}{N_M} \frac{l_{eff}}{(\xi \sigma_s)_m}\right) \\ f - \text{wykorzystania neutronów termicznych} & \quad f = \frac{e \sigma_{a5} + (1-e) \sigma_{a8}}{e \sigma_{a5} + (1-e) \sigma_{a8} + R F \frac{N_m}{N_U} \sigma_{am}} \\ \eta - \text{wsp. rozszczepienia neutronami termicznymi} & \quad \eta = \frac{\nu \sigma_{f5}}{\sigma_{a5} + \left(\frac{1-e}{e}\right) \sigma_{a8}} \end{aligned}$$

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 rozszczepienie w U235 i 238

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

e – wzbogacenie

$\nu = 2.42$ – średnia ilość neutronów na rozszczepienie 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 przedstawić 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 przedstawić można następująco:

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

gdzie T [K]

Uwaga:

Współczynnik (np. temperaturowy) określany jako pochodna logarytmiczna:

$$\alpha = \frac{1}{k} \frac{dk}{dT}$$

Jest to szczególnie ważne w przypadku wzoru współczynnika temperaturowego reaktywności, gdzie cały współczynnik jest sumą współczynników poszczególnych czynników:

$$\alpha = \frac{1}{k} \frac{dk}{dT} = \frac{1}{\varepsilon} \frac{d\varepsilon}{dT} + \frac{1}{p} \frac{dp}{dT} + \frac{1}{f} \frac{df}{dT} + \frac{1}{\eta} \frac{d\eta}{dT}$$

Ze względu na związek: $\rho = \frac{k-1}{k}$, mamy zależność: $dk = k^2 d\rho$, czyli:

$$\alpha = \frac{1}{k} \frac{dk}{dT} = k \frac{d\rho}{dT}$$

Ponieważ w okolicy krytyczności $k \approx 1$, z dobrym przybliżeniem dostaniemy:

$$\alpha = \frac{d\rho}{dT} = \frac{1}{k} \frac{dk}{dT} = \frac{1}{\varepsilon} \frac{d\varepsilon}{dT} + \frac{1}{p} \frac{dp}{dT} + \frac{1}{f} \frac{df}{dT} + \frac{1}{\eta} \frac{d\eta}{dT}$$

Zadanie 4.1

Stosując opisany w ramce wzór czteroczynnikowy, proszę wyznaczyć optymalną wartość stosunku objętości moderatora do paliwa (moderator to fuel ratio), czyli taką, przy której k_{∞} osiąga wartość maksymalną. Proszę porównać wynik z obliczeniami wykonanymi dla klasycznej kasety paliwowej PWR (zakładamy nieskończoną wysokość):

- przekrój poziomy – kwadrat 21.4 cm x 21.4 cm
- 17x17 prętów paliwowych rozłożonych równomiernie na siatce kwadratowej
- średnica pręta paliwowego równa 9 mm.

Zadanie 4.2

Proszę policzyć współczynnik temperaturowy reaktywności wyrażony poprzez sumę pochodnych logarytmicznych czynników.

Zadanie 4.3

Proszę przedstawić współczynnik temperaturowy reaktywności jako funkcję głębokości moderacji (stosunku objętości moderatora do objętości paliwa).

Zadanie 4.4

Korzystamy z danych i wzorów zamieszczonych w powyższych tabelkach:

1. proszę wyznaczyć współczynniki temperaturowe reaktywności rdzenia z paliwem UO_2 o wzbogaceniu 3.7% i moderatorem wodnym;
2. proszę porównać wartości k_{∞} w punktach CZP (30°C), HZP (297.5°C) i HFP (320°C, paliwo 800°C). Pamiętajmy, że podany wzór na gęstość wody dla temperatur pokojowych nie działa;
3. w jaki sposób na wspomniane współczynniki wpłynie zmiana ciśnienia wody między punktami CZP i HZP?