

Úloha 5-28 Různé typy průtočných reaktorů

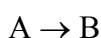
Pro izomeraci jistého uhlovodíku při teplotě 800 K a tlaku 100 kPa je potřeba navrhnout takové experimentální uspořádání, v němž by se při daném objemu dosáhlo maximálního stupně přeměny. Uvažujte tyto možnosti:

- (a) trubkový reaktor o vnitřním průměru 4 cm a délce 12 m (pístový tok),
- (b) svazek tří trubek, každá o vnitřním průměru 4 cm a délce 4 m (pístový tok),
- (c) kaskáda tvořená třemi trubkovými reaktory, každý o vnitřním průměru 4 cm, délce 4 m (pístový tok),
- (d) ideálně míchaný reaktor stejného objemu jako reaktor trubkový v případě (a),
- (e) kaskáda tří ideálně míchaných reaktorů, z nichž každý má objem stejný jako jeden člen kaskády pístových reaktorů v bodě (c).

Uhlovodík je do reaktoru nastříkáván rychlostí $3,8 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (měřeno při teplotě 273,15 K a tlaku 100 kPa). Rychlostní konstanta izomerace je $k_c = 0,56 \text{ s}^{-1}$. Reakce je prakticky jednosměrná.

[(a) $\alpha = 0,9349$, (b) $\alpha = 0,9349$, (c) $\alpha_3 = 0,9349$, (d) $\alpha_3 = 0,732$, (e) $\alpha_3 = 0,8566$]

Řešení:



$T = 800 \text{ K}$, $p = 100 \text{ kPa}$

$F_{V0} = 3,8 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ – při teplotě $T_0 = 273,15 \text{ K}$ a tlaku 100 kPa

Přepočet na T : $F_V = F_{V0} \cdot \frac{T}{T_0} = 3,8 \cdot \frac{800}{273,15} \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$

- (a) $d = 4 \text{ cm} = 0,04 \text{ m}$, $\ell = 12 \text{ m}$

$$V_R = \pi \cdot (d/2)^2 \cdot \ell = \pi \cdot (0,02)^2 \cdot 12 = 0,01508 \text{ m}^3$$

pístový tok:

$$r = k_c \cdot c_A = k_c \cdot c_{A0} \cdot (1 - \alpha)$$

$$\frac{V_R}{F_V} = c_{A0} \cdot \int_0^\alpha \frac{d\alpha}{r} = c_{A0} \cdot \int_0^\alpha \frac{d\alpha}{k_c \cdot c_{A0} \cdot (1 - \alpha)} = -\frac{1}{k_c} \ln(1 - \alpha)$$

$$\ln(1 - \alpha) = -\frac{V_R \cdot k_c}{F_V} \left[\frac{\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}}{\text{m}^3 \text{ h}^{-1}} \right] \text{ nutno přepočítat } k_c = 0,56 \text{ s}^{-1} = 0,56 \left(\frac{\text{h}}{3600} \right)^{-1} = 2016 \text{ h}^{-1}$$

$$\ln(1 - \alpha) = -\frac{0,01508 \cdot 2016}{3,8 \cdot \frac{800}{273,15}} = -2,731615$$

$$1 - \alpha = 0,065114$$

$$\alpha = 0,9349$$

- (b) Tři trubky třetinové délky $V_R = 3 V_{Ri}$ paralelně

$$\alpha = 0,9349$$

- (c) Tři trubky třetinové délky $V_R = 3 V_{Ri}$ sériově

$$\frac{V_R}{F_V} = c_{A0} \cdot \int_0^{\alpha_1} \frac{d\alpha}{r} + c_{A0} \cdot \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{d\alpha}{r} + c_{A0} \cdot \int_{\alpha_2}^{\alpha_3} \frac{d\alpha}{r} = c_{A0} \cdot \int_0^{\alpha_3} \frac{d\alpha}{r} = -\frac{1}{k_c} \ln(1 - \alpha_3)$$

$$\alpha_3 = 0,9349$$

- (d) Ideálně míchaný reaktor $V_R = 0,01508 \text{ m}^3$

$$F_V = F_{V0} \cdot \frac{T}{T_0} = 3,8 \cdot \frac{800}{273,15} \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$$

$$\frac{V_R}{F_V} = c_{A0} \cdot \frac{\alpha}{r} = c_{A0} \cdot \frac{\alpha}{k_c \cdot c_{A0} \cdot (1 - \alpha)} = \frac{\alpha}{k_c \cdot (1 - \alpha)}$$

$$\alpha = \frac{1}{\frac{F_V}{k_c \cdot V_R} + 1} = \frac{1}{\frac{3,8 \cdot 800}{273,15 \cdot 2016 \cdot 0,01508} + 1}$$

$\alpha_3 = 0,732$

(d) Kaskáda tří ideálně míchaných reaktorů, každý o objemu $V_{Ri} = 1/3 V_R = \frac{0,01508}{3} \text{ m}^3$

První člen

$$\frac{V_{Ri}}{F_V} = \frac{\alpha_1}{k_c \cdot (1 - \alpha_1)} \quad , \quad \alpha_1 = \frac{1}{\frac{F_V}{k_c \cdot V_{Ri}} + 1} = \frac{1}{\frac{3,8 \cdot 800}{273,15 \cdot 2016 \cdot 0,01508/3} + 1} = 0,47659$$

Druhý člen

$$\frac{V_{Ri}}{F_V} = \frac{c_{A1} - c_{A2}}{k_c \cdot c_{A2}} = \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{k_c \cdot (1 - \alpha_2)}$$

$$\alpha_2 = \frac{\frac{V_{Ri} \cdot k_c}{F_V} + \alpha_1}{\frac{V_{Ri} \cdot k_c}{F_V} + 1} = \frac{\frac{273,15 \cdot 2016 \cdot 0,01508/3}{3,8 \cdot 800} + 0,47659}{\frac{273,15 \cdot 2016 \cdot 0,01508/3}{3,8 \cdot 800} + 1} = 0,72604$$

Třetí člen

$$\frac{V_{Ri}}{F_V} = \frac{c_{A2} - c_{A3}}{k_c \cdot c_{A3}} = \frac{\alpha_3 - \alpha_2}{k_c \cdot (1 - \alpha_3)}$$

$$\alpha_3 = \frac{\frac{V_{Ri} \cdot k_c}{F_V} + \alpha_2}{\frac{V_{Ri} \cdot k_c}{F_V} + 1} = \frac{\frac{273,15 \cdot 2016 \cdot 0,01508/3}{3,8 \cdot 800} + 0,72604}{\frac{273,15 \cdot 2016 \cdot 0,01508/3}{3,8 \cdot 800} + 1} = 0,856606$$