

Evropský sociální fond

„Praha & EU: Investujeme do vaší budoucnosti“

PX1: Kombinovaná úloha na krystalizaci a filtraci

Do vakuové odparky je přiváděno 3380 kg h^{-1} roztoku dusičnanu draselného, obsahující 30 g KNO_3 na $100 \text{ g H}_2\text{O}$. Roztok odcházející z odparky má teplotu 80°C a platí $W_{\text{KNO}_3} = 0,9 W_{\text{KNO}_3}^*$. V krystalizéru je roztok ochlazen na 18°C a 10 % nasyceného roztoku je odváděno přepadem.

Krystaly se mají oddělovat filtrací za konstantního tlaku na nuči, která je k dispozici a jejíž naplnění, vyprázdnění a vyčištění trvá 20 minut. Při pokusné filtraci, která probíhala za stejných podmínek jako provozní filtrace, bylo získáno $21,5 \text{ l}$ filtrátu za 10 minut a $44,5 \text{ l}$ filtrátu za 20 minut. Teplota při pokusné i provozní filtraci je uvažována 18°C a použitý přetlak je 4 atm . Určete, zda bude daná nuč schopna zpracovat množství suspenze dodávané krystalizérem, a pokud ano, po jakou dobu bude mimo provoz v rámci hodinového pracovního cyklu.

Tabulka 1: Výňatek z tabulky XV-1 v Chemicko-inženýrských tabulkách pro KNO_3 . $W_{\text{KNO}_3}^*$ je relativní hmotnostní zlomek KNO_3 v nasyceném roztoku.

$t (^\circ\text{C})$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$W_{\text{KNO}_3}^*$	0.133	0.209	0.316	0.458	0.639	0.855	1.1	1.38	1.69	2.02	2.46

Postup a výpočet

Schéma je uvedeno na obrázku 1

1 Složení proudů u odparky a krystalizéru

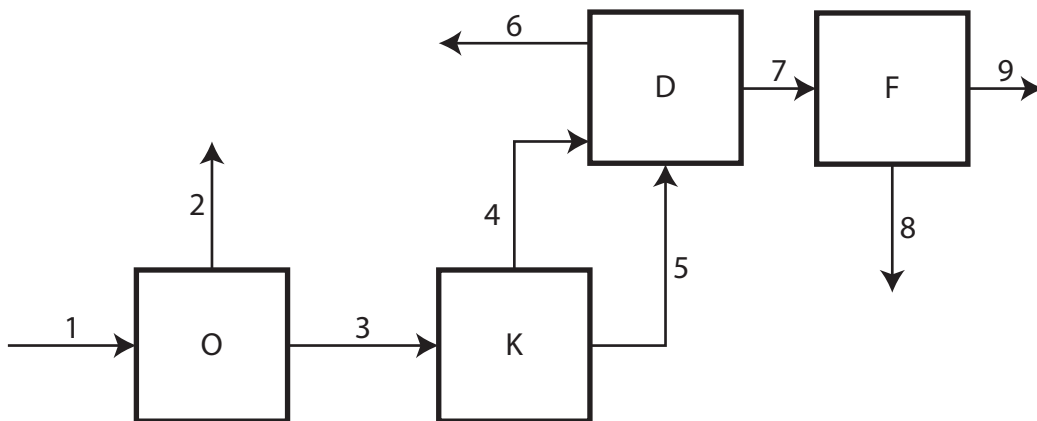
Nejprve vypočteme složení proudů. A značí dusičnan draselný, B vodu. Hmotnostní zlomky určíme z relativních zlomků a ze platnosti $\sum_i w_i = 1$

$$W_{A1} = \frac{w_{A1}}{1 - w_{A1}} \rightarrow w_{A1} = \frac{W_{A1}}{1 + W_{A1}}$$

$$w_{A1} = \frac{0,3}{1 + 0,3} = \frac{3}{10} \cdot \frac{10}{13} = \frac{3}{13} \doteq 0,2308, \quad w_{B1} = 1 - w_{A1} = 0,7692$$

Z Chemicko-inženýrských tabulek, tabulky XV-1 získáme rovnovážné složení pro roztok KNO_3 při 80°C : $W_{A3}^*(85^\circ\text{C}) = 1,69$. Přepočteme relativní zlomek na hmotnostní, s uvažováním 90% nasycenosti. Složení proudu vstupujícího do krystalizéru je tedy

$$w_{A3} = 0,9 \frac{1,69}{1 + 1,69} = \frac{9}{10} \frac{169}{269} = 0,5654, \quad w_{B3} = 1 - w_{A3} = 0,4346$$



Obrázek 1: Bilanční schéma.

Uzly: O – odparka, K – krystalizér, D – dělič (přepad pro nasycený roztok v krystalizéru), F – filtrační nuč.
 Proudý: 1 – Vstup suroviny do odparky, 2 – odtah brýdových par, 3 – roztok KNO_3 / vstup do krystalizéru, 4 – roztok KNO_3 nasycený při 18°C , 5 – krystaly KNO_3 , 6 – 10 % nasyceného roztoku KNO_3 odcházejícího přepadem v krystalizéru, 7 – suspenze krystalů a roztoku (nasyceného při 18°C) KNO_3 , 8 – krystaly KNO_3 , 9 – roztok KNO_3 nasycený při 18°C .

1.1 Materiálové bilance

Z bilančního schématu 1 plynou pro odparku celková bilance odparky a bilance KNO_3 :

$$\begin{aligned}\dot{m}_1 &= \dot{m}_2 + \dot{m}_3 \\ w_{A1} \dot{m}_1 &= w_{A3} \dot{m}_3\end{aligned}$$

Ze zadání známe hmotnostní průtok brýdových par. Složení proudů jsme určili, dostáváme dvě rovnice o dvou neznámých $\dot{m}_1$ a $\dot{m}_3$

$$\begin{aligned}\dot{m}_1 &= 2000 + \dot{m}_3 \\ 0,2308 \dot{m}_1 &= 0,5654 \dot{m}_3\end{aligned}$$

Dosazením za $\dot{m}_1$ z první rovnice do druhé plyne

$$0,2308(\dot{m}_3 + 2000) = 0,5654 \dot{m}_3 \longrightarrow \dot{m}_3 = \frac{461,6}{0,3346} = 1379,6 \text{ kg h}^{-1}$$

a dosazením za $\dot{m}_3$ do první rovnice

$$\dot{m}_1 = 2000 \text{ kg h}^{-1} + 1379,6 \text{ kg h}^{-1} = 3379,6 \text{ kg h}^{-1}$$

1.2 Určení složení suspenze v krystalizéru

Z tabulky 1 získáme složení roztoku dusičnanu v krystalizéru nasyceného při 18°C lineární interpolací:

$$W_A^*(18^\circ\text{C}) = W_A^*(10^\circ\text{C}) + 0,8(W_A^*(20^\circ\text{C}) - W_A^*(10^\circ\text{C})) = 0,209 + 0,8(0,316 - 0,209) = 0,2946$$

Složení nasyceného roztoku je tedy

$$w_{A4} = \frac{0,2946}{1 + 0,2946} = \frac{2946}{3946} = 0,7466, \quad w_{B4} = 1 - w_{A4} = 0,2534$$

Celková bilance a bilance vody jsou tedy:

$$\begin{aligned}\dot{m}_3 &= \dot{m}_4 + \dot{m}_5 \\ w_{B3} \dot{m}_3 &= w_{B4} \dot{m}_4\end{aligned}$$

kde proud 4 označuje nasycený roztok a proud 5 čisté krystaly. Hmotnosti proudů lze získat řešením soustavy. Ze znalosti složení výsledného nasyceného roztoku w_{B4} a dat o vstupním nasyceném roztoku $\dot{m}_3$ a w_{B3} lze získat hmotnostní průtok nasyceného roztoku $\dot{m}_4$:

$$\dot{m}_4 = \frac{w_{B3}}{w_{B4}} \dot{m}_3 = \frac{0,2534}{0,4346} 1379,6 = 0,5831 \cdot 1379,6 = 804,4 \text{ kg h}^{-1}$$

a z celkové bilance je množství krystalů

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_3 - \dot{m}_4 = 1379,6 - 804,4 = 575,2 \text{ kg h}^{-1}$$

Jelikož je deset procent matečného roztoku odděleno přepadem, výsledkem je produkce přibližně 1300 kg h^{-1} suspenze s cca 575 kg krystalů a 725 kg matečného roztoku.

1.3 Filtrace suspenze

Hmotnostní bilance krystalizéru není nutná, jelikož známe hmotnostní průtok nasyceného roztoku $\dot{m}_3$ i krystalů $\dot{m}_5$.

Objem filtrátu zjistíme z hmotnostní bilance

$$V_F = \frac{m_F}{\rho_F} = \frac{m_S - m_s}{\rho_F},$$

kde m_S je hmotnost suspenze (krystalů i matečného louhu) a m_s je hmotnost krystalů. Hustotu nasyceného roztoku F lze odhadnout pomocí tabulky IV-1b, kde je pro roztok o koncentraci 24 hmotn.% při teplotě 20°C hustota 1162 kg m^{-3} , vzhledem k malým odchylkám v teplotě a koncentraci použijeme tuto hodnotu.

Dobu filtrace vypočítáme ze vztahu

$$q_F^2 + 2 q_M q_F - 2 K \tau_F \longrightarrow V_F^2 + 2 V_F q_M S - 2 \tau_F K S^2 = 0$$

který upravíme na tvar

$$\tau_F = \frac{V_F^2 + 2 V_F q_M S}{2 K S^2} \quad (1)$$

Za V_F a τ_F dosazujeme postupně získané dvojice hodnot objemu filtrátu a času ($V_{F,1}$, $\tau_{F,1}$) a ($V_{F,2}$, $\tau_{F,2}$). Dostaneme

$$\begin{aligned}(21,5 \cdot 10^{-3})^2 + 2 \cdot 21,5 \cdot 10^{-3} q_M S - 2 \cdot 600 K S^2 &= 0 \\ (44,5 \cdot 10^{-3})^2 + 2 \cdot 44,5 \cdot 10^{-3} q_M S - 2 \cdot 1200 K S^2 &= 0\end{aligned}$$

Řešením soustavy získáme vztahy

$$\begin{aligned}q_M S &= -0,35192 \text{ m}^3 \\ K S^2 &= -1,2225 \cdot 10^{-5} \text{ m}^6 \text{s}^{-1}\end{aligned}$$

Objem filtrátu vypočteme ze vztahu:

$$V_F = \frac{1300 - 575}{1162} = 0,6239 \text{ m}^3,$$

V rovnici (1) tedy známe všechny veličiny a můžeme vypočíst dobu filtrace:

$$\tau_F = \frac{(0,6239)^2 + 2 \cdot 0,6239 \cdot (-0.35192)}{2 \cdot (-1,2225 \cdot 10^{-5})} \doteq 2040 \text{ s.}$$

Filtrace tedy zabere přibližně 34 minut a nuč bude 6 minut nečinná (před údržbou).