$$E_{MR} = \frac{X_1 - X_2}{X_1 - Y_2^*}$$ بازدهی

* روشی که بحثی تعادلی خط باشد:

$$E_{ME} = E_{MR} / (E_{MR}(1-S) + S)$$

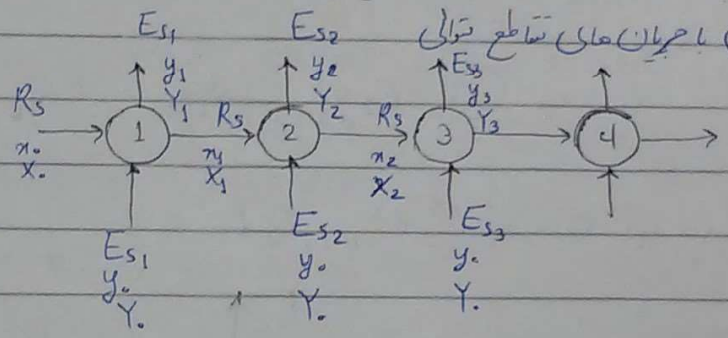
$$= \frac{E_{MR}}{E_{MR}(1-\frac{1}{A}) + \frac{1}{A}}$$

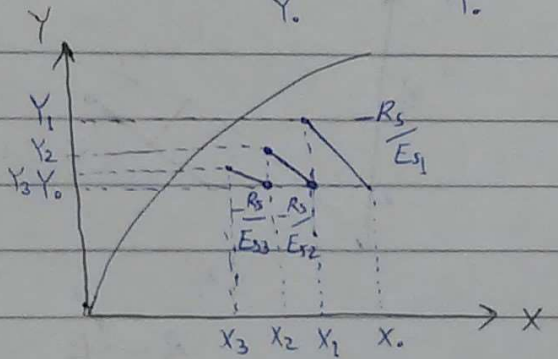
$$A = \frac{R_S}{mE_S}$$ فاکتور جذب ، $$S = \frac{mE_S}{R_S}$$ فاکتور دفع ، $$m = \frac{Y_2^* - Y_2}{X_2 - X_2^*}$$

سیستم های چند مرحله ای (cascades)

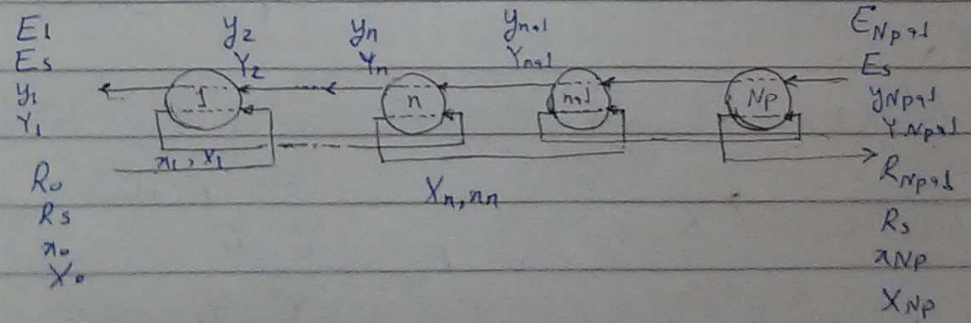
راندمان کلی برابر است با تعداد مراحل ایده آل تقسیم بر تعداد مراحل واقعی بدست میاید.

✓ جذب با جریان های متقاطع متوالی

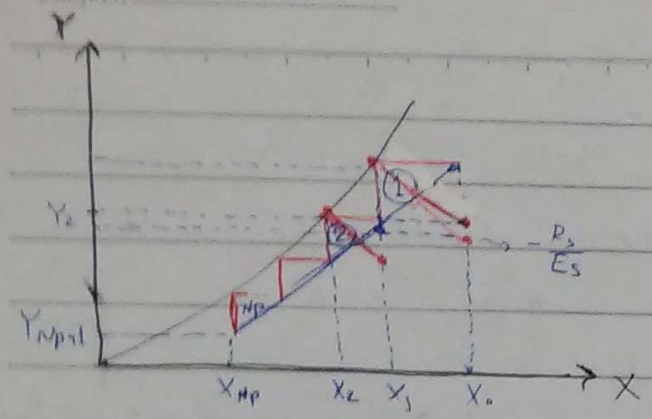




✓ جذب با جریان های متوالی تکثیف الحت:



LearnElement.ir

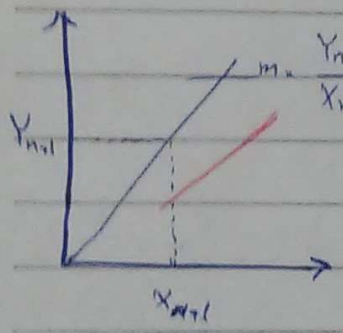


مرحله اول : $R_s(x_0 - x_1) = E_s(Y_1 - Y_2)$

مرحله دوم : $R_s(x_1 - x_2) = E_s(Y_2 - Y_3)$

کل سیستم : $R_s(x_0 - x_{Np}) = E_s(Y_1 - Y_{Np+1})$

خط کار مربوط به کل سیستم $\frac{R_s}{E_s}$ = شیب $\quad R \to E$



با فرض اینکه منحنی تعادلی و خط کار به شکل خط مستقیم باشند:

- موازنه جرم حول مرحله $n+1$ ، N_p بنویسیم:

$$E_s(Y_{n+1} - Y_{Np+1}) = R_s(X_n - X_{Np})$$

$$m = \frac{Y_{n+1}}{X_{n+1}} \quad , \quad A = \frac{R_s}{mE_s}$$

$$Y_{n+1} - Y_{Np+1} = \frac{R_s}{E_s}(X_n - X_{Np})$$

$$\div m \Rightarrow \frac{Y_{n+1}}{m} - \frac{Y_{Np+1}}{m} = \frac{R_s}{mE_s}(X_n - X_{Np})$$

$$\Rightarrow X_{n+1} - AX_n = \frac{Y_{Np+1}}{m} - AX_{Np}$$

حل معادله $\Rightarrow$

$$X_n = \left(X_0 - \frac{Y_{Np+1}/m - AX_{Np}}{1-A}\right)A^n + \frac{Y_{Np+1}/m - AX_{Np}}{1-A}$$

* برای انتقال از فاز R به E (stripping of R) (تنع از فاز R)

$n = N_p$, $A \neq 1$ $\Rightarrow$

$$\frac{X_0 - X_{Np}}{X_0 - Y_{Np+1}/m} = \frac{\left(\frac{1}{A}\right)^{N_p+1} - \frac{1}{A}}{\left(\frac{1}{A}\right)^{N_p+1} - 1} \xrightarrow{\log} N_p = \frac{\log\left[\frac{(X_0 - \frac{Y_{Np+1}}{m})(1-A)}{X_{Np} - Y_{Np+1}/m} + A\right]}{\log \frac{1}{A}}$$

LearnElement.ir

Subject: Date:

$$\text{if } A=1 \Rightarrow \lim_{A\to 1} \frac{\left(\frac{1}{A}\right)^{N_p+1} - \frac{1}{A}}{\left(\frac{1}{A}\right)^{N_p+1} - 1} = \frac{N_p}{N_p+1} \Rightarrow \frac{X_0 - X_{N_p}}{X_{N_p} - Y_{N_p+1}/m}$$

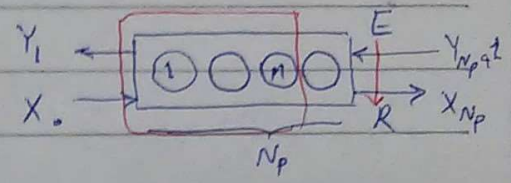
انتقال جرم از فاز E به R انجام شود (جزء بازنده R)

موازنه جرم بین مرحله اول مرحله n:

$$R_s(X_n - X_0) = E_s(Y_{n+1} - Y_1)$$

$$m = \frac{Y_n}{X_n}$$

$$\Rightarrow Y_{n+1} - AY_n = Y_1 - AmX_0$$



$$A\neq 1 \Rightarrow \frac{Y_{N_p+1} - Y_1}{Y_{N_p+1} - mX_0} = \frac{A^{N_p+1} - A}{A^{N_p+1} - 1}$$

$$\Rightarrow N_p = \frac{\log\left[\frac{Y_{N_p+1} - mX_0}{Y_1 - mX_0}\left(1 - \frac{1}{A}\right) + \frac{1}{A}\right]}{\log A}$$

$$A=1 \Rightarrow N_p = \frac{Y_{N_p+1} - Y_1}{Y_1 - mX_0}$$

مثال کتاب: E: فاز هوا / R: فاز صابون

$$Y = \frac{\text{جرم آب}}{\text{جرم هوا}} \qquad X = \frac{\text{جرم آب}}{\text{جرم صابون}}$$

$$Y = \frac{M_w \cdot n_w}{M_{air} \cdot n_{air}} \qquad \frac{n_w}{n_{air}} = \frac{P_w}{P_{air}} = \frac{P}{P_t - P} \Rightarrow Y = \frac{18.02}{29}\left[\frac{P}{760 - P}\right]$$

1 atm

$$X = \frac{wt\%}{100 - wt\%}$$

120°F, 1 atm
150 ft^3
فشار جزئی آب در هوای اولیه 12 mmHg

10 lb_m
16.7 % wt

موازنه جرم: $R_s(X_1 - X_2) = E_s(Y_2 - Y_1)$

* معادله مربوط به سیستم Batch مثل سیستم با جریان‌های هموار است با این تفاوت که مقادیر ها مربوط به دو زمان مختلف هستند.

Taj Danesh

LearnElement.ir

Subject: Date:

$$Y_1 = \frac{12}{760-12} \times \frac{18.02}{29} = 0.00996$$

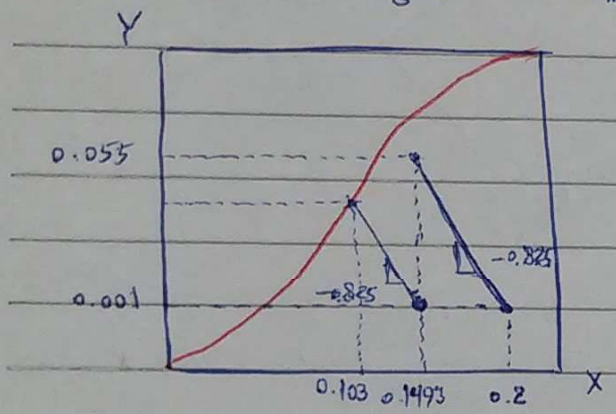
$$X_1 = \frac{16.7}{100-16.7} = 0.2 \qquad X_2 = \frac{13}{100-13} = 0.1493$$

برای محاسبه تعداد صابون خشک / نسبت آب به هوا

$(R_s) = 10(1-0.167) = 8.33\ lb_m$ صابون خشک

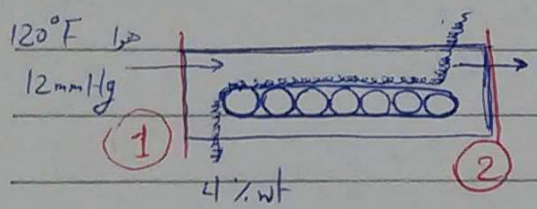
$(E_s) \Rightarrow P_B V = n_B R T \Rightarrow 14.7 \times \frac{748}{760} \times 150 = n_B (10.73) \times (460+120)$

$\Rightarrow n_B = 0.348\ lb_{mol} = 10.1\ lb_m$ هوای خشک



$X = 0.103 \dfrac{lb_m \text{ آب}}{lb_m \text{ صابون خشک}}$

$\text{درصد رطوبت} = \dfrac{0.103}{1+0.103} \times 100 = 9.33\ \%$



حداقل تعداد هوای لازم برحسب $\dfrac{lb_m}{hr}$ به ازای هر پوند صابون

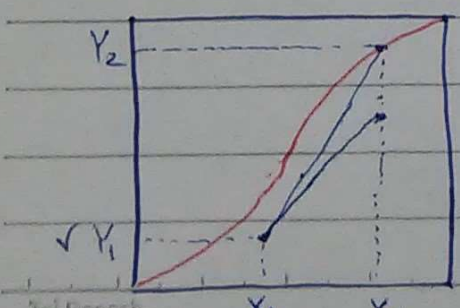
$R_s(X_1 - X) = E_s(Y_1 - Y)$

$\Rightarrow R_s = 1 \times (1-0.167) = 0.833 \dfrac{lb_m \text{ صابون خشک}}{hr}$

$X_2 = 0.2 \dfrac{lb \text{ آب}}{lb_m \text{ صابون خشک}}$ صابون ورودی

$X_1 = \dfrac{0.04}{1-0.04} \dfrac{lb_m \text{ آب}}{lb_m \text{ صابون خشک}}$ صابون خروجی

$Y_1 = 0.00996 \dfrac{lb_m \text{ آب}}{lb_m \text{ هوای خشک}}$ هوای ورودی



حداقل میزان هوا زمانی بدست می آید که بیشترین شیب را داشته باشیم (در شرایط ثانویه به تعادل برسیم)

$Y_2 = 0.068 \dfrac{lb_m \text{ آب}}{lb_m \text{ هوای خشک}}$

LearnElement.ir

Subject: Date:

$$R_s(X_1 - X_2) = E_s(Y_1 - Y_2)$$

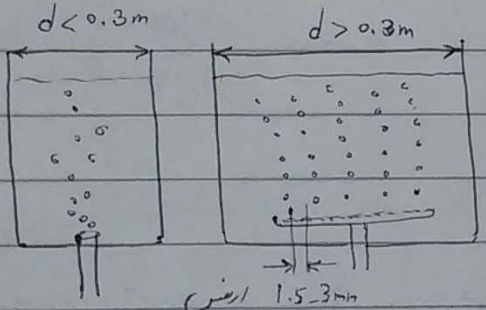
$$0.833(0.2 - 0.0417) = E_{s,min}(0.065 - 0.00976)$$

$$E_{s,min} = 2.27 \ \frac{lb_m \text{ هوای خشک}}{hr}$$

فصل 6: تجهیزات انتقال جرمی

تجهیزات عملیات گاز - مایع

- فاز گازی پراکنده در فاز مایع
  - Sparged vessel (bubble column) (برج های حبابی) مخزن پاشنده
  - Agitated vessels مخازن همزده
  - Tray columns (towers) برج های سینی دار
- فاز مایع پراکنده در فاز گاز
  - wetted wall columns ستون های دیواره مرطوب
  - spray towers ستون های پاششی
  - Packed columns ستون های آکنده



* مخازن حبابی

(1) قطر حباب های گازی
- قطر دهانه ارتفاع
- خواص سیال
- میزان تلاطم مایع

(ب) گاز عبوری از دهانه ارتفاع

1- slow gas flow rate. $Q_{G_0} < \left[20(\sigma d_0 g_c)^5 / (g\Delta\rho)^2 \rho_L^3\right]^{1/6}$

$d_p = \left[\frac{6 d_0 \sigma g_c}{g \Delta\rho}\right]^{1/3}$ $d_0 < 10$ mm

از برابری نیروی شناوری و نیروی کشش سطحی بدست می آید.

d_0: قطر دهانه ارتفاع
σ: کشش سطحی

2- Intermediate flow rates:

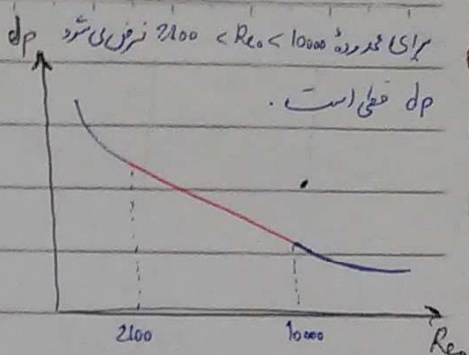
$$\begin{cases} Q_{G_0} > \left[20(\sigma d_0 g_c)^5 / (g\Delta\rho)^2 \rho_L^3\right]^{1/6} \\ Re_0 < 2100 \end{cases} \qquad Re_0 = \frac{d_0 V_0 \rho_G}{\mu_G}$$

Tol Danesh

LearnElement.ir

برای هوا-آب $d_p = 0.0287\, d_o^{1/2}\, Re_o^{1/3}$ (Γ بر حسب m، d_o بر حسب m)

برای سایر گازها و مایعات $d_p = \left(\frac{72\,\rho_L}{\pi^2 g \Delta\rho}\right)^{1/5} Q_{G_o}^{0.4}$ (Γ بر حسب m)

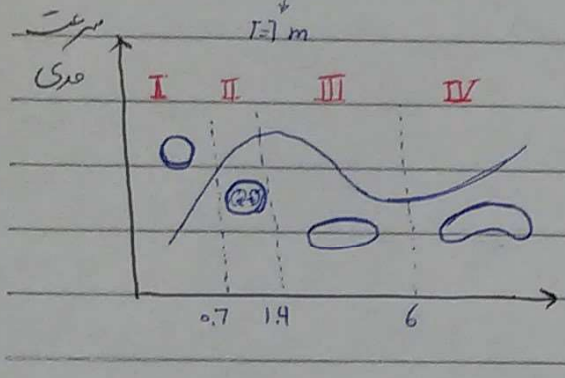


برای محدوده $2100 < Re_o < 10000$ نوسان‌ی شود dp تقریبی است.

3- Large gas flow rate:

$Re_o = 10{,}000 - 50{,}000$

هوا-آب $d_p = 0.0071\, Re_o^{-0.05}$ $\quad 0.4 < d_o < 1.6\,mm$



$\Gamma = 1\,m$

(2) سرعت حدی معمول حباب‌ها:

(I) $V_t = \frac{g d_p^2 \Delta\rho}{18\mu_L}$

II, III, IV $\quad V_t = \sqrt{\frac{2\sigma g_c}{d_p \rho_L} + \frac{g d_p}{2}}$

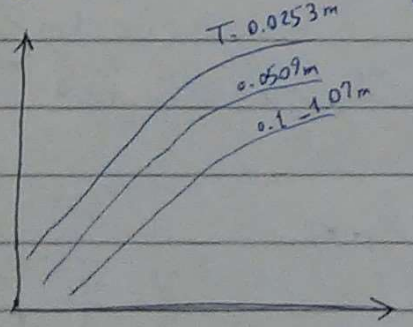
(3) Gas hold up:

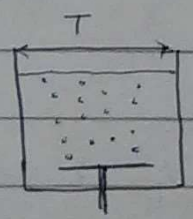
φ_G: کسری از حجم مخلوط گاز-مایع که توسط گاز اشغال شده است.

$\frac{V_G}{\varphi_G}$: سرعت واقعی گاز نسبت به دیواره‌های مخزن

$\frac{V_L}{1-\varphi_G}$: سرعت واقعی مایع نسبت به دیواره

سرعت نسبی گاز و مایع $V_s = \frac{V_G}{\varphi_G} - \frac{V_L}{1-\varphi_G}$



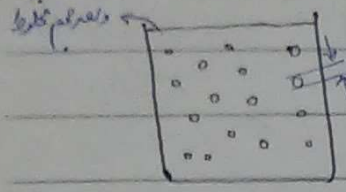


$V_L = 0$

جریان جمع $\quad V_L < 0.1\,m/s$

جریان ناچیزی مایع

LearnElement.ir



④ سطح تماس ویژه بین گاز و مایع:

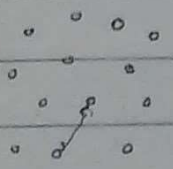
d_p: قطر حباب

φ_G: کسر حجمی نا گاز

n: تعداد حباب‌ها / تعداد کل خلط

$$n = \frac{\varphi_G}{(\pi d_p^3/6)} \qquad n = \frac{a}{\pi d_p^2} \Rightarrow a = \frac{6\varphi_G}{d_p}$$

بعد تصحیح شود



$0.1 < \varphi_G < 0.4$

$0.15 < \frac{V_L}{1-\varphi_G} < 15\ m/s$

فقی سرعت مایع زیاد باشد: (هوا-آب)

$$d_p = \frac{2.344 \times 10^{-3}}{\left[V_L/(1-\varphi_G) \right]^{0.67}}$$

d_p : $[=] m$

V_L : $[=] m/s$

⑤ ضریب انتقال جرم:

$$Sh_L = \frac{F_L \cdot d_p}{c D_L} = 2 + b' Re_G^{0.779} Sc_L^{0.546} \times \left(\frac{d_p \cdot g^{1/3}}{D_L^{2/3}} \right)^{0.116}$$

$$b' = \begin{cases} 0.61 & \text{Single gas bubbles} \\ 0.0187 & \text{swarms of bubbles} \end{cases}$$

$$Re_G = \frac{d_p V_G \rho_L}{\mu_L}$$

برج های سینی دار:

کمترین سرعت گازی که سبب طغیان می‌شود

$$V_F = C_F \left(\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G} \right)^{1/2}$$

شرایط بهینه V

$(0.8 - 0.85)\ V_F$; non foaming liquids

$< 0.75\ V_F$; foaming liquids

$$V = \frac{Q}{A_n}$$

سطح مقطع خالی $\rightarrow A_n = A_t - A_d$

سطح مقطع برج — سطح مقطع لوله‌ای

LearnElement.ir

Subject: Date:

طراحی سینی های غربالی:

1- تعیین قطر برج:

$$V_F = C_F \left(\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$V = \begin{cases} (0.8 - 0.85)\, V_F & ; \text{non foaming} \\ 0.75\, V_F & ; \text{foaming} \end{cases}$$

$V = \frac{Q}{A_n}$ → Q: Volumetric flow rate of gas

A_n: net cross section

سطح مقطع برج — سطح مقطع لوله‌ای

$A_n = A_t - A_d$

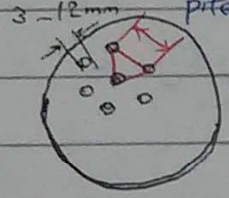
$$C_F = \left[\alpha \log \frac{1}{\left(\frac{L'}{G'}\right)\left(\frac{\rho_G}{\rho_L}\right)^{0.5}} + \beta \right] \left(\frac{\sigma}{0.02} \right)^{0.2}$$

L': superficial liq. mass velocity $[=] \frac{M}{L^2\theta}$

σ: کشش سطحی مایع $[=] \frac{F}{L}$

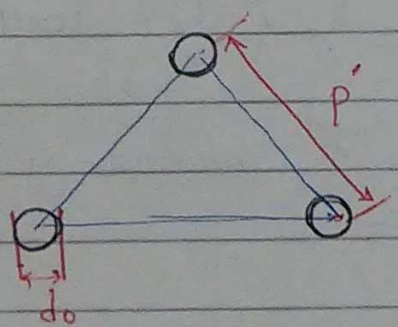
G': ... gas ... $[=]$ ...

2- اندازه سوراخ های سینی و مساحت فعال سینی:



قطر سوراخ ها : 4.5 mm

جدول 6.2 کتاب: $\frac{\text{ضخامت ورق}}{\text{قطر سوراخ ها}} = f(\text{قطر سوراخ})$



$2.5 d_o < p' < 5.0 d_o$

$$\frac{A_o}{A_a} = \frac{\text{hole area}}{\text{active area}} = 0.907 \left(\frac{d_o}{p'} \right)^2$$

If $\frac{A_o}{A_a} \geq 0.1$

If $0.01 < \frac{L'}{G'} \left(\frac{\rho_G}{\rho_L} \right)^{0.5} < 0.1$:

set $\frac{L'}{G'} \left(\frac{\rho_G}{\rho_L} \right)^{0.5} = 0.1$

$\alpha = 0.0744\, t + 0.01173$

$\beta = 0.0304\, t + 0.015$

↓

tray spacing

Taj Danesh

LearnElement.ir

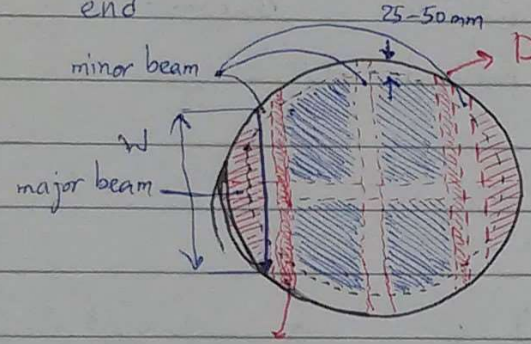
elseif $0.1 < \frac{L'}{G'}\left(\frac{\rho_G}{\rho_L}\right)^{0.5} < 1$ $\begin{cases} \alpha = 0.0744t + 0.01173 \\ \beta = 0.0304t + 0.015 \end{cases}$

end

elseif $\frac{A_o}{A_a} < 0.1$

Multiply α and β by $\left(\frac{5A_o}{A_a} + 0.5\right)$

end



15% A_t

$A_a = A_t - 2A_d - ($ peripheral beam (25-50mm) + support beam $)$ ← تابع $f(w)$

$-$ (Distribution zone + Disengagement Zone)

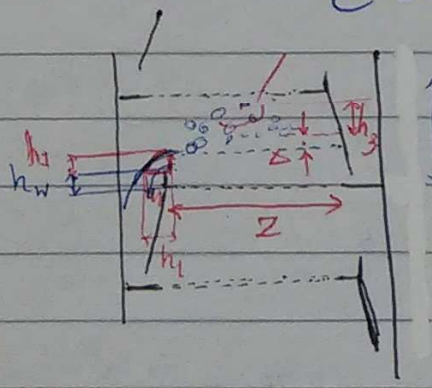
5% A_t

net cross section

$A_n = A_t - A_d \longrightarrow V = \frac{Q}{A_n}$

هیدرولیک سینی های غربالی:

- عمق مایع: نباید کمتر از 50mm باشد. حداکثر عمق مایع 100mm است.



total liquid height $= h_w + h_1$ (crest)

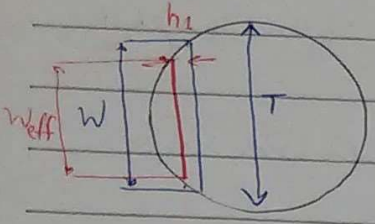
ارتفاع سرریز — ارتفاع تاج مایع بر روی تیغه سرریز

Francis Formula : $\frac{q}{W_{eff}} = 1.839\, h_1^{3/2}$

q: rate of liquid flow (m^3/s) W_{eff} = effective length of weir (m)

h_1: liq. crest over the weir (m)

LearnElement.ir



$$\left(\frac{W_{eff}}{W}\right)^2 = \left(\frac{T}{W}\right)^2 - \left\{\left[\left(\frac{T}{W}\right)^2 - 1\right]^{0.5} + \frac{2h_1}{T}\left(\frac{T}{W}\right)\right\}^2$$

$$h_1 = 0.666\left(\frac{q}{W}\right)^{2/3}\left(\frac{W}{W_{eff}}\right)^{2/3}$$

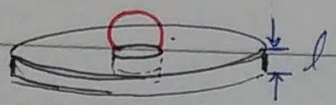
افت فشار گاز:

$$h_G = h_D + h_L + h_R$$

h_D: افت فشار گاز حین عبور از سینی خشک

h_L: " بواسطه ارتفاع مایع روی سینی

h_R: " عوامل دیگر



عوامل افت فشار: غربال مایع کشش سطحی

* h_D - رابطه:

$$\frac{2h_D g \rho_L}{V_o^2 \rho_G} = C_o\left[0.4\left(1.25 - \frac{A_o}{A_n}\right) + \frac{4lf}{d_o} + \left(1 - \frac{A_o^2}{A_n}\right)\right]$$

f: Fanning Friction Factor C_o: ضریب ارینس $= f\left(\frac{d_o}{l}\right)$

* h_L - رابطه:

$$h_L = 6.1\times10^{-3} + 0.725 h_W - 0.238 h_W V_a \rho^{0.5} + 1.225\frac{q}{Z}$$

$Z = \frac{T+W}{2}$ V_a: سرعت گاز بر اساس سطح فعال (A_a) h_W: ارتفاع سرریز q: دبی حجمی مایع

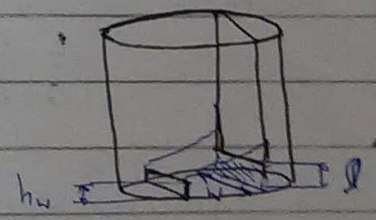
* افت فشار ناشی از کشش سطحی: (h_R عوامل دیگر)

$$h_R = \frac{6\sigma g_c}{\rho_L d_o g}$$

σ: کشش سطحی مایع

* افت فشار مایع در کل ورود مایع به سینی (h_2):

$$h_2 = \frac{3}{2g}\left(\frac{q}{A_{da}}\right)^2$$

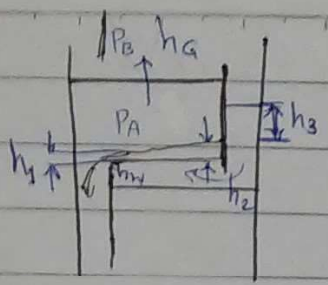


A_{da}: min(A_d , سطح مقطع بین لبه پایینی تیغه نادرانی)

سطح مقطع نادرانی — دکمه سینی

$l' = h_W - (25\text{-}40\ mm)$

LearnElement.ir



ارتفاع مایع در قسمت نازلی:

$$h_3 = h_2 + h_G$$

جلوگیری برای عدم طغیان

$$h_w + h_1 + h_2 < t/2$$

نقطه شروع بارش از سوراخ های سینی:

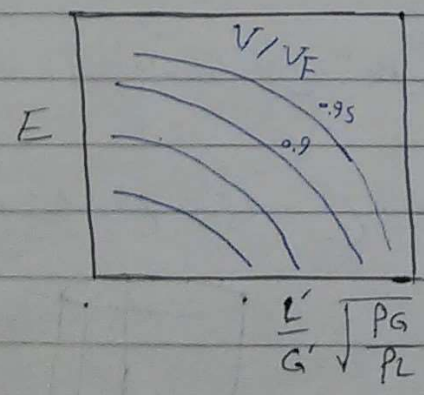
$$\frac{V_{ow}\,\mu_G}{\sigma g_c} = 0.229 \left(\frac{\mu_G^2}{\sigma g_c \rho_G d_o}\frac{\rho_L}{\rho_G}\right)^{0.379} \times \left(\frac{l}{d_o}\right)^{0.293} \left(\frac{2A_a d_o}{\sqrt{3}\,p'^2}\right)^{\frac{2.8}{(z/d_o)^{0.724}}}$$

l: فاصله سینی d_o: قطر سوراخ p': pitch

A_a: $A_t - 2A_d$ — support area = Dist. zone — Disengag. zone

همراه بری مایع توسط گاز:

$$E = \frac{\text{moles liq entrained}/(\text{area})(\text{time})}{\frac{L}{\text{دبی مایع خروجی از سینی}} + \text{moles liq. entrained}/(\text{area})(\text{time})}$$



مثال: تحلیل و ارزیابی تمیز آن برج که عملیات دفع در یک برج با سینی های غربالی انجام می شود. شرایط عملیاتی زیر می باشد:

LearnElement.ir

Subject: Date:

$M_{Meth} = 32$, $M_W = 18$ $\quad M_{ave} = 0.18(32) + 0.82(18) = 20.5 \ kg/kmol$

$$\rho_G = \frac{PM}{RT}$$

$$\Rightarrow \rho_G = \frac{101325 \times 20.5}{8314 (273.15 + 25) K} = 0.679 \ kg/m^3$$

$$Q = 0.1 \ \frac{kmol}{s} \times 20.5 \ \frac{kg}{kmol} \Big/ 0.679 \ \frac{kg}{m^3} = 3.02 \ m^3/s$$

$$* M_{ave,l} = \frac{100}{15/32 + 85/18} = 19.26 \ kg/kmol$$

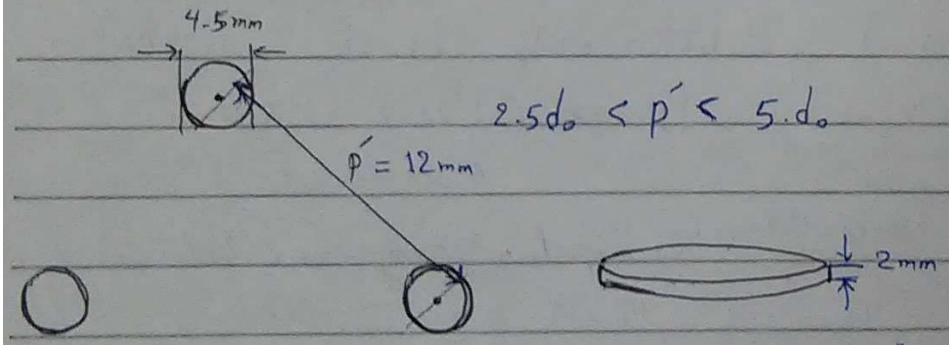
به 100kg : 15 kg methanol , 85 kg water

$15/32 = 0.469$ kmol meth. ; $85/18 = 4.722$ kmol water

mole fraction : $\frac{0.469}{0.469 + 4.722} = 0.0903$, $\frac{4.722}{0.469 + 4.722} = 0.9097$

$$M_{ave,l} = 0.0903(32) + 0.9097(18) = 19.26 \ kg/kmol$$

$\rho_L = 961 \ kg/m^3$ به ازای $q = \frac{0.25 \times 19.26}{961} = 5 \times 10^{-3} \ m^3/s$



$2.5 d_o < p' < 5 d_o$ $\quad p' \simeq 0.5 \ inch \simeq 12 \ mm$

$$\frac{A_o}{A_a} = 0.907 \left(\frac{d_o}{p'}\right)^2 = \frac{0.907(0.0045)^2}{(0.012)^2} = 0.1275$$

$V \begin{cases} (0.8 - 0.85) V_F \\ < 0.75 V_F \end{cases}$

$$V_F = C_F \left(\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G}\right)^{0.5}$$

LearnElement.ir

Subject: سوال جرم

Date:

if $\left(\frac{A_o}{A_a} > 0.1\right)$ $\frac{L'}{G'}\left(\frac{\rho_G}{\rho_L}\right)^{0.5} = \frac{q\rho_L}{Q\rho_G}\left(\frac{\rho_G}{\rho_L}\right)^{0.5} = \frac{q}{Q}\left(\frac{\rho_L}{\rho_G}\right)^{0.5} = \frac{5\times10^{-3}}{3.02}\left(\frac{961}{0.679}\right)^{0.5} = 0.0622$

if $\left(\frac{L'}{G'}\right)\left(\frac{\rho_G}{\rho_L}\right)^{0.5} = 0.0622 < 0.1 \Rightarrow \left(\frac{L'}{G'}\right)\left(\frac{\rho_G}{\rho_L}\right)^{0.5} = 1$

$\alpha = 0.0744\,(0.5) + 0.01173 = 0.0489$

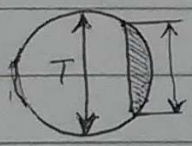
$\beta = 0.0304\,(0.5) + 0.015 = 0.0302$

$\sigma = 0.04\ \frac{N}{m} \Rightarrow C_F = \left(0.04893 \log\frac{1}{0.1} + 0.0302\right)\left(\frac{0.04}{0.02}\right)^{0.2} = 0.0909$

$V_F = 0.0909 \times \left(\frac{961 - 0.679}{0.679}\right)^{0.5} = 3.42$

$V = 0.8\,V_F = 0.8 \times 3.42 = 2.73\ \frac{m}{s} \rightarrow A_n = \frac{Q}{V} = \frac{3.02}{2.73} = 1.106\ (m^2)$ (Net cross section)

$A_n = A_t - A_d$



$W = 0.7\,T$ Table 6.1 $\Rightarrow A_d = 8.8\%\ A_t$

$A_t = \frac{A_n}{1 - 0.088} = \frac{1.106\ m^2}{1 - 0.088} = 1.213\ m^2$

$T = \lceil 4A_t \rceil^{0.5} = 1.243\ (m) \rightarrow 1.25\ m \Rightarrow A_t = \pi(1.25)^2/4 = 1.227\ m^2$

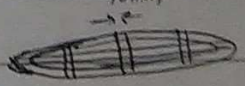
$W = 0.7 \times 1.25 = 0.875\ (m)$ $A_d = 0.088\,(1.227) = 0.1080\ m^2$

$0.222\ m^2$

$A_a = A_t - 2A_d -$ سطح اشغال شده (tray support + Diseng. Zone + Disk. Zone)

support ring : 40 mm $15\%\ A_t$ 5)

boom: 40 mm



$A_a = 1.227 - 2(0.108) - 0.222 = 0.789\ m^2$

Saj Danesh

LearnElement.ir

Subject: Date:

$$h_l = 0.666 \left(\frac{q}{w}\right)^{2/3} \left(\frac{w}{w_{eff}}\right)^{2/3}$$ کاسه تاج مایع سرریز (h_l):

$$\left(\frac{w_{eff}}{w}\right)^2 = \left(\frac{T}{w}\right)^2 - \left\{ \left[\left(\frac{T}{w}\right)^2 - 1\right]^{0.5} + \frac{2h_l}{T}\left(\frac{T}{w}\right) \right\}^2$$

$h_l = 25\,mm \longrightarrow h_l = 0.022\ (m)$ ارتفاع تاج

* در کتاب اشتباه نوشته شده است:

$h_w = 50\,mm$

$h_D = C_o[\dots]$ کاسه افت فشار سینی خشک:

$C_o = 1.09\left(\frac{d_o}{l}\right)^{0.25} = 1.09\left(\frac{0.0045}{0.002}\right)^{0.25} = 1.335$

$A_o = 0.1275 A_a = 0.1275(0.789) = 0.1006\ m^2$

$V_o = \frac{Q}{A_o} = \frac{3.02}{0.1006} = 30\ m/s$

$\mu_G = 0.0125\ cp = 1.25 \times 10^{-5}\ \frac{kg}{m.s}$ بازای 95° $\quad Re = \frac{d_o V_o \rho_G}{\mu_G} = 7330$ $\quad HB \rightarrow f_{0.008}^{0.008}$

$l = 0.002\ m,\ g = 9.807\ m^2/s \quad \frac{2h_D g \rho_L}{V_o^2 \rho_G} = C_o[\dots] \Rightarrow h_D = 0.0564\ m$

$V_a = \frac{Q}{A_a} = \frac{3.01}{0.789} = 3.827\ m/s$ کاسه افت فشار ناشی از ارتفاع مایع:

$Z = \frac{T+W}{2} = \frac{1.25+0.875}{2} = 1.063\ m \quad h_L = 6.1\times10^{-3} + 0.725\, h_w + \dots$

$\Rightarrow h_L = 0.0106\ m$

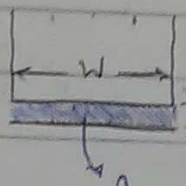
افت فشار ناشی از سایر عوامل: (کشش سطحی)

$h_R = \frac{6\sigma g_c}{\rho_L d_o g} = \frac{6 \times 0.04 \times 1}{961 \times 0.0045 \times 9.807} = 5.66\times10^{-3}\ m$

$h_G = h_D + h_L + h_R = 0.0727\ m$

Taj Danesh

LearnElement.ir



افت فشار مایع عبور از سینی تقطیر ناودانی: (h_2)

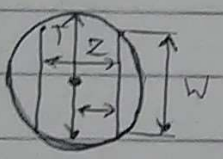
$A = 0.025 \times W = 0.0219\ m^2$

$A_{da} = \min(A_d, A) = 0.0219\ m^2 \Rightarrow h_2 = \frac{3}{2(9.807)}\left(\frac{5\times10^{-3}}{0.0219}\right)^2 = 7.97\times10^{-3}\ m$

0.1080 0.0219

محاسبه ارتفاع مایع روی ناودانی: $h_3 = h_G + h_2 = 0.0727 + 7.97\times10^{-3} = 0.0807\ m$

ارتفاع مایع روی ناودانی $= h_w + h_1 + h_3 = 0.05 + 0.0222 + 0.0807 = 0.1529 < t_2 = 0.25$



محاسبه سرعت گازی که منجر به پدیده بارش می‌شود:

$\frac{W}{T} = 0.7$ Table 6.1 $\rightarrow Z = 2\times0.412 = 0.824$

$\frac{V_{OW}\mu_G}{\sigma g_c} = 0.0229\ (\sim)(\sim)(\sim) \Rightarrow V_{OW} = 8.71\ \frac{m}{s}$

چون $8.71 < 30\ \frac{m}{s}$ $\Leftarrow$ بارش نداریم.

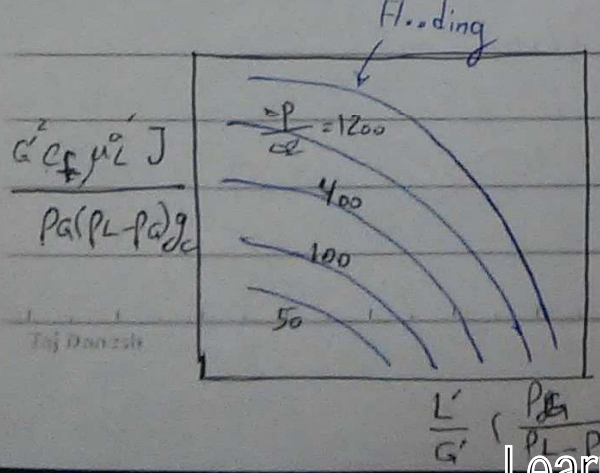
محاسبه میزان همراه بری مایع توسط گاز:

$\frac{V}{V_F} = 0.8 \qquad \frac{L'}{G'}\left(\frac{\rho_G}{\rho_L}\right)^{0.5} = 0.0622$

Fig 6.17 $\Rightarrow E = 0.05$ ✓ قابل قبول

---

* محفظه دانباشتی در برج های آکنده:



C_f: شعاعی از آکنده Table 6.3

SI: $g_c = 1$ $\qquad J = 1$

LearnElement.ir

مقادیر بهینه $\frac{\Delta P}{Z}$ برای طراحی:

1- برج های جذب و دفع: $(\frac{\Delta P}{Z})_{opt} = 200 - 400\ N/m^2/m$

2- برج تقطیر خرد، جزء استریک $(\frac{\Delta P}{Z})_{opt} = 400 - 600\ N/m^2/m$

3- برج کت - فلو $(\frac{\Delta P}{Z})_{opt} = 8 - 40\ N/m^2/m$

$G' [=] \frac{lb}{ft^2.hr}$, $\rho [=] lb/ft^3$, $\mu_L [=] cp$ $g_c = 4.18 \times 10^8$, $J = 1.502$

Ergun: کاسبرد افت فشار بستر آکنده (جریان های تک فازی)

$$\frac{\Delta P}{Z} \cdot \frac{g_c \cdot \varepsilon^3 \cdot dp \cdot \rho g}{(1-\varepsilon)\, G'^2} = \underbrace{\frac{150(1-\varepsilon)}{Re}}_{laminar} + \underbrace{1.75}_{turbulent} \qquad Re = \frac{dp \cdot G'}{\mu}$$

$$dp = \frac{6(1-\varepsilon)}{a_p}$$ قطر موثر ذرات: dp

$$\frac{\Delta P}{Z} = C_D \frac{G'^2}{\rho G}$$: $G' > 0.7\ kg/m^2.s$ * برای جریان گاز

← مثال کتاب

Taj Dooesh

LearnElement.ir

Subject: _____

Date: _____

LearnElement.ir

ضریب انتقال جرم در برج های آشنه

$$\begin{cases} \frac{W}{A} = N_A = k_o C \\ a = \frac{A}{V} \end{cases} \Rightarrow \frac{W}{aV} = N_A = k_o C$$

volumetric overall coefficient ← رمز شده

$$\Rightarrow \frac{W}{V} = N_A \cdot a = (K_a)\, o C$$

$K_a \rightarrow K_G \cdot a \rightarrow K_L \rightarrow F_{oL} \cdot a \rightarrow F_{oG} \cdot a$

روابط تجربی ارائه شده توسط Shulman : سرعت ظاهری جرمی

$$\frac{F_G \cdot Sc^{2/3}}{G} = \frac{K_G \cdot P_{B,M}\, Sc^{2/3}}{G} = 1.195 \left[\frac{d_s G'}{\mu_G (1 - \varepsilon_{Lo})} \right]^{-0.36} \quad \text{(Rasching , Berl saddle)}$$

سرعت ظاهری گاز

ε_{Lo} = operating void space فضای خالی بین ذرات : $\varepsilon - \phi_{Lt}$

d_s = قطر کره‌ای که سطح آن با سطح آنتی برابر باشد $d_s \neq d_p$

hold up

$$\phi_{Lt} = \phi_{Lo} + \phi_{Ls}$$

operating — static

$\phi_{Ls} \rightarrow$ table 6.5

$\phi_{Lo} = \phi_{Low} \times H \rightarrow$ table 6.5 برای سایر سیالات

سیال: آب

ϕ_{Low} (آب) $= \phi_{LtW} - \phi_{LsW}$

$$\frac{K_L \cdot d_s}{D_L} = 25.1 \left(\frac{d_s \cdot L'}{\mu_L} \right)^{0.45} Sc_L^{0.5}$$

ضریب نفوذ فاز مایع

کاسبه سطح تماس لوله به ازای واحد حجم بستر در فرآیند جذب و دفع:

$$a_A = a_{Aw} \cdot \frac{\phi_{Lo}}{\phi_{Low}} \quad \text{برای سایر سیالات}$$

برای آب $a_{Aw} = m \left(808 \frac{G'}{\rho_G^{0.5}} \right)^n (L')^P$ table 6.4

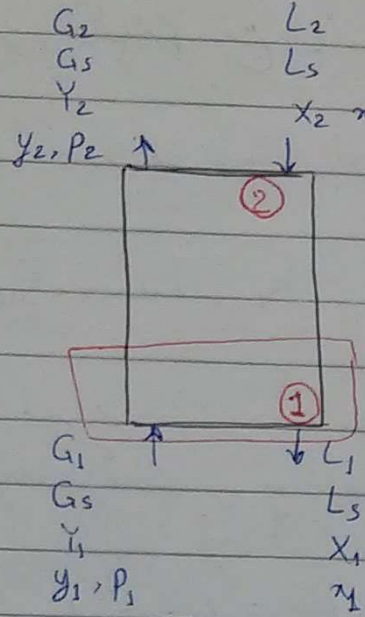
LearnElement.ir

Subject: _____ Date: _____

فصل 8 : فرآیندهای دفع و جذب

* موازنه جرم حول تجهیزات انتقال جرمی:

- جریان های ناهم (تقابل)



$$Y = \frac{y}{1-y} = \frac{P}{P_t - P}$$

$$\Rightarrow Y+1 = \frac{1}{1-y}$$

$$G_s = G(1-y) = \frac{G}{1+Y}$$

$$X = \frac{x}{1-x}$$

$$L_s = L(1-x) = \frac{L}{1+X}$$

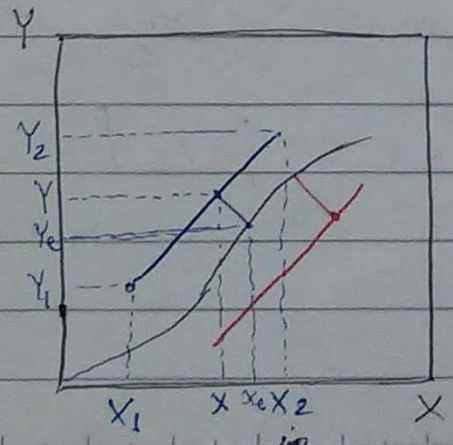
موازنه جرم بین نقطه 1 و یک نقطه دلخواه در برج است:

خط کار:

$$G_s(Y_1 - Y) = L_s(X_1 - X)$$

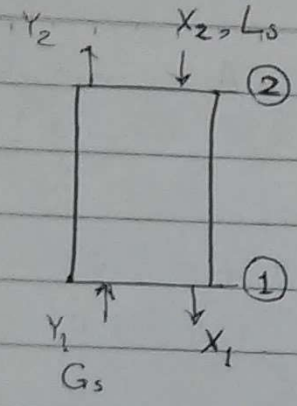
$$G_s(Y_1 - Y_2) = L_s(X_1 - X_2)$$

$$G_s(Y_{Np+1} - Y_1) = L_s(X_p - X_0) \quad \text{multi-stage}$$

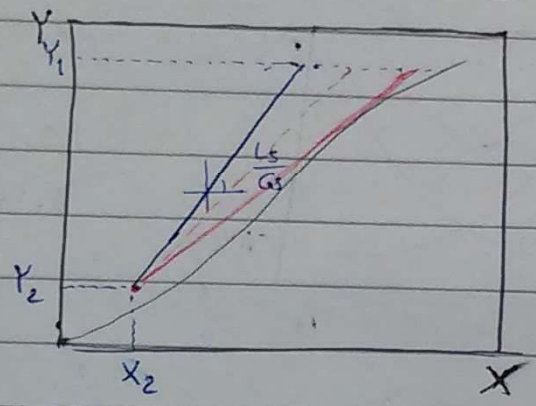


Taj Danesh

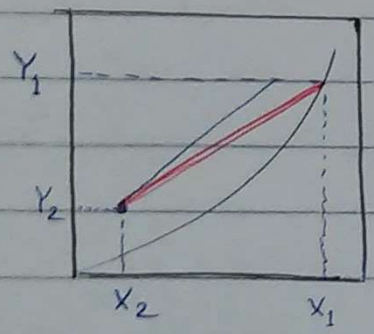
LearnElement.ir



حداقل نسبت جریان مایع به گاز در عمل جذب:



هرچه دبی مایع افزایش یابد، سیف خطا کم می‌شود تا زمانی که به خط تعادلی مماس شود. در این صورت نیروی محرکه (گرادیان غلظت) کم می‌شود و باید آنرا با افزایش سطح مقطع جریان کرد (یا تعداد مراحل را زیاد کرد) وقتی خط عملیاتی بر منحنی تعادلی مماس شود تعداد مراحل به بی نهایت میل می‌کند.



در این صورت حداقل دبی نسبتی بدست می‌آید که جریان‌ها در تعادل باشند.

عملیات چند مرحله‌ای ناهمسو (برج‌های جذب سینی دار)

خط‌های گازی رقیق:

$$y^* = mx$$

Absorption:

$$\frac{y_{Np+1} - y_1}{y_{Np+1} - mx_0} = \frac{A^{Np+1} - A}{A^{Np+1} - 1} \qquad A = \frac{L_s/G_s}{m}$$

$$N_p = \frac{\log\left[\frac{y_{Np+1} - mx_0}{y_1 - mx_0}\left(1 - \frac{1}{A}\right) + \frac{1}{A}\right]}{\log A}$$

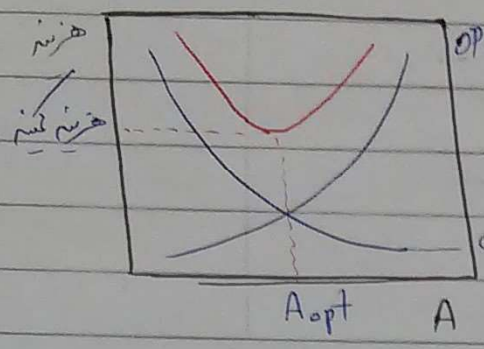
$L_0 \approx L_{Np} \approx L_{tot}$ $\left[\frac{mol}{(area)(time)}\right]$: چون میزان جزء منتقل شونده کم است

$$G_1 \approx G_{Np+1} \approx G_{tot} \left[\frac{mol}{(area)(time)}\right]$$

LearnElement.ir

$$A = \frac{L_s / G_s}{m}$$

فاکتور جذب (A)



Eco

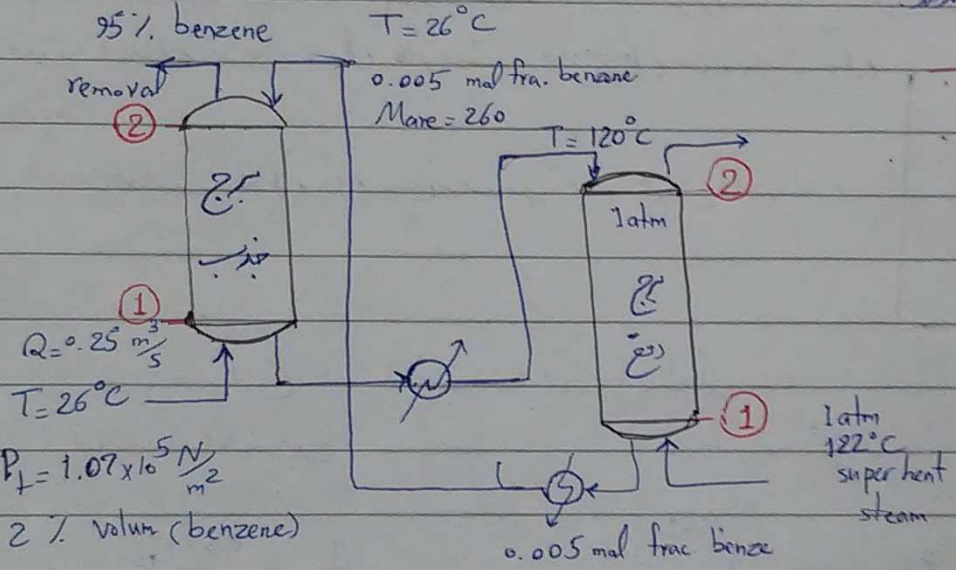
$1.25 < A_{opt} < 2.0$

$1.25 < \left(\frac{1}{S}\right) < 2.0$

فاکتور دفع $A = \frac{1}{S}$ فاکتور جذب

در محدوده $A < 1.0$ تا حدی جداسازی ممکن است، هرچه تعداد مراحل را زیاد کنیم تأثیری روی جداسازی ندارد.

* مثال 8.2 تن



Absorber:

$$G_1 = 0.25 \times \frac{273}{273+26} \times \frac{1.07 \times 10^5}{1.0133 \times 10^5} \times \frac{1}{22.41} = 0.01075 \ \frac{kmol}{s}$$

$$y_1 = 0.02 \Rightarrow Y_1 = \frac{0.02}{1-0.02} = 0.0204 \ \frac{kmol}{kmol\ dry\ gas}$$

$$G_s = 0.01075\ (1 - 0.02) = 0.01051 \ \frac{kmol\ dry\ gas}{s}$$

Taj Danesh

LearnElement.ir

Subject: انتقال جرم

Date:

95% benz. removal $\quad Y_2 = 0.05\,(0.0204) = 0.00102 \ \frac{kmol\ benz.}{kmol\ dry\ gas}$ $\quad 1 - 0.95$

$x_2 = 0.005 \rightarrow X_2 = 0.00503 \ \frac{kmol\ benz.}{kmol\ oil}$

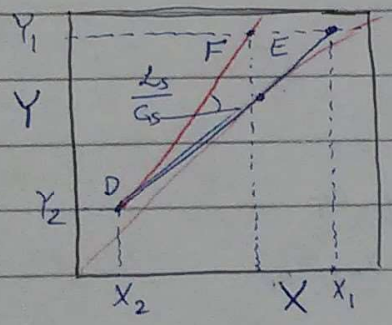
@ $T = 26^\circ C \rightarrow P^{vap}_{benz.} = 100\ mmHg = 13330\ N/m^2$

$\bar{P}_i^* = y_i P_t = x_i P_i^{vap}$: قانون رائول

$\Rightarrow \bar{P}^* = 13330\,x$

$y^* = \frac{\bar{P}^*}{P_t}$, $P_t = 1.07\times10^5\ N/m^2$ $\quad Y^* = \frac{y^*}{1-y^*}$ $\quad X = \frac{x}{1-x}$

$\Rightarrow \frac{Y^*}{1+Y^*} = 0.125\ \frac{X}{1+X}$



@ $Y_1 = 0.0204 \xrightarrow[\text{خط طرفین}]{\text{با استفاده از}} X_1 = 0.176$

$L_{s,min} = \frac{G_s(Y_1 - Y_2)}{(X_1 - X_2)} = 1.19\times10^{-3}\ \frac{kmol}{s}$

$L_s = 1.5\ L_{s,min} = 1.787\times10^{-3}\ \frac{kmol}{s}$

با به برعکس تعادلی خط پاس
رسم کنیم تا X_1 بدست آید.

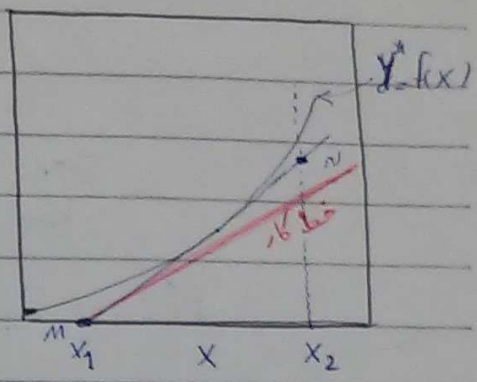
$X_1\big|_{@F} = X_2 + \frac{G_s(Y_1 - Y_2)}{L_s} = 0.00503 + \frac{0.01051\,(0.0204 - 0.00102)}{1.787\times10^{-3}}$

$\Rightarrow X_1 = 0.119 \ \frac{kmol\ Benz.}{kmol\ Oil}$

LearnElement.ir

Stripper: @ $T = 122°C \rightarrow p^{vap}_{Benz.} = 2400\,mmHg = 319.9\ \frac{kN}{m^2}$

منحنی تعادل: $\frac{Y^*}{1+Y^*} = 3.16\ \frac{X}{1+X}$



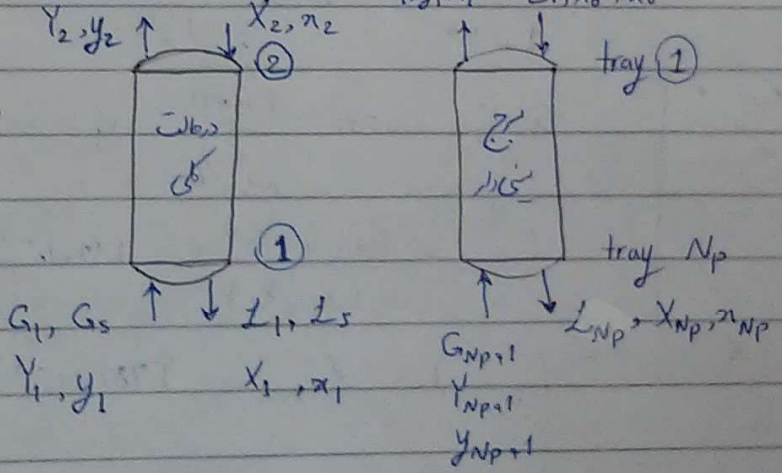
$X_2^{stripper} = X_1^{absorber} = 0.119$

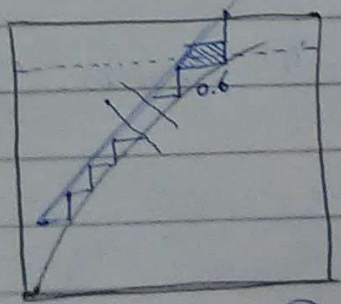
$X_1^{stripper} = X_2^{absorber} = 0.00503$

$Y_1 = 0$, $Y_2 = ?$

شیب خط مشترک $= \frac{L_S}{G_{S,min}} \rightarrow G_{S,min} = \frac{L_S(X_2 - X_1)}{Y_2 - Y_1} = 4.526 \times 10^{-4}\ \frac{kmol\,stream}{s}$

$G_S = 1.5\, G_{S,min} = 1.5 \times 4.526 \times 10^{-4}\ \frac{kmol}{s}$





در مراحل رسم خط کار در نقطات y-x تقریباً خطی در نظر گرفتیم و از A متوسط عددی گرفتیم می‌توانیم از روابط تقریبی برای بدست آوردن تعداد مراحل استفاده کنیم.

$7 <$ تعداد سینی‌های لازم < 8

7.6

LearnElement.ir

Subject: Date:

$y_{Np+1} = 0.02$, $y_1 = 0.001$ $x_0 = 0.005$, $m = \frac{y^*}{x} = 0.125$

$A = \frac{L/G}{m}$? ولی $A = \frac{L_1/G_1}{m}$ یا این $A = \frac{L_{Np}/G_{Np+1}}{m}$

$L_0 = L_s(1+X_0) = 1.787\times10^{-3}(1+0.00503) = 1.796\times10^{-3}\ \frac{kmol}{s}$

$G_1 = G_s(1+Y_1) = 0.01051\ (1+0.00102) = 0.01052\ \frac{kmol}{s}$

$L_{Np} = L_s(1+X_{Np}) = 2\times10^{-3}\ \frac{kmol}{s}$

$A_{Np} = \frac{L_{Np}}{m G_{Np}} \approx \frac{L_p}{m G_{Np+1}} = \frac{2\times10^{-3}}{0.125(0.01075)} = 1.488$

$A_1 = \frac{L_1}{m G_1} \approx \frac{L_0}{m G_1} = \frac{1.796\times10^{-3}}{0.125\ (0.01052)} = 1.366$

متوسط هندسی $A = [1.488\times1.366]^{0.5} = 1.424$ ← رابطه کلی از حرف استادی

Fig 5.16, Eqn. 5.55 } $N_p = 7.7$

Stripper:

$\frac{1}{A_{Np}} = S_{Np} = 1.197$

$\frac{1}{A_1} = S_{10} = 1.561$

$S_{ave} = 1.367$

- بدون گرانیگی : 6.7 سینی
- استفاده از روابط تقریبی : 6 سینی ← تعداد سینی‌ها :

Taj Danesh

LearnElement.ir

Subject: Date:

دستگاه های تماس پیوسته (Packed Columns)

برج های آکنده (فرآیند جذب)

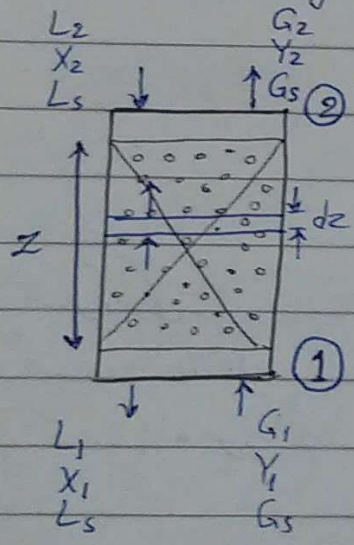
1) انتخاب حلال
2) انتخاب نوع آکنه ها
3) محاسبه کمینه ی حلال و مقدار بهینه ی حلال
4) محاسبه قطر برج
5) محاسبه ارتفاع بستر آکنده
6) طراحی تجهیزات داخلی برج

محاسبه ارتفاع بستر آکنده :

ورودی : 1- داده های تعادلی

2- دبی جریان ها و غلظت جریان ها در دو انتهای برج

3- روابط لازم برای محاسبه ضرایب انتقال جرم $K_x a, K_G a, k_x a, k_G a, K_y a, \dots$



$$a = \frac{\text{سطح تماس بین دو فاز}}{\text{حجم بستر} \rightarrow z \times \text{سطح مقطع برج}}$$

$$s = \frac{\text{سطح تماس بین دو فاز}}{\text{سطح مقطع برج}}$$

$$\Rightarrow az = s \Rightarrow ds = a\,dz$$

$$d(G_y) = -N_A \times (a\,dz) \qquad (N_B = 0 \Rightarrow \frac{N_A}{N_A + N_B} = 1)$$

$$N_A = F_G \ln \frac{1-y_i}{1-y}$$

$$\Rightarrow -\frac{d(G_y)}{a\,dz} = F_G \ln \frac{1-y_i}{1-y}$$

Taj Danesh

LearnElement.ir

Subject: Date:

$$d(G_s y) = d\left(\frac{G_s y}{1-y}\right) = G_s \frac{dy}{(1-y)^2} = G\frac{dy}{1-y}$$

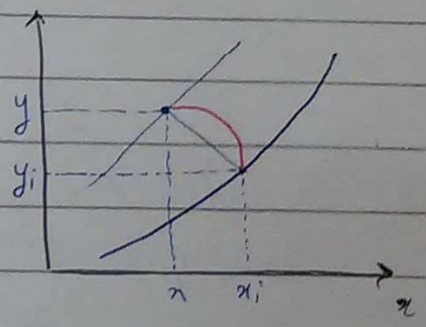
$G_s = G(1-y)$

$$\Rightarrow \frac{-G\,dy}{a(1-y)\,dz} = F_G \ln\frac{1-y_i}{1-y} \Rightarrow dz = \frac{-G\,dy}{aF_G(1-y)\ln\left(\frac{1-y_i}{1-y}\right)}$$

$$\Rightarrow z = \int_0^z dz = \int_{y_2}^{y_1} \frac{-G\,dy}{aF_G(1-y)\ln\left(\frac{1-y_i}{1-y}\right)}$$

$$\frac{N_A}{\sum N_i} = 1 \Rightarrow N_A = F_G \ln\frac{1-y_i}{1-y} = F_L \ln\frac{1-x}{1-x_i}$$

$$\Rightarrow \frac{1-y_i}{1-y} = \left(\frac{1-x}{1-x_i}\right)^{F_L/F_G}$$



$$y - y_i = (1-y_i) - (1-y)$$

$$\Rightarrow \int \frac{-G\overbrace{\left[(1-y_i)-(1-y)\right]}^{(1-y)_{iM}}dy}{aF_G(1-y)(y-y_i)\ln\left(\frac{1-y_i}{1-y}\right)}$$

$$z = \int_{y_2}^{y_1} \frac{G(1-y)_{iM}}{F_G a}\frac{dy}{(1-y)(y-y_i)}$$

H_{tG} : Height of Gas transfer unit

ارتفاع یک واحد انتقال در فاز گاز

$$H_{tG} = \frac{G}{F_G a} = \frac{G}{k_y a (1-y)_{iM}} = \frac{G}{k_G a P (1-y)_{iM}}$$

$$\simeq H_{tG}\int_{y_2}^{y_1} \frac{(1-y)_{iM}}{(1-y)(y-y_i)}dy \quad N_{tG}$$

N_{tG} : Number of Gas transfer unit

تعداد واحدهای انتقال فاز گاز

در صورتی که از متوسط لگاریتمی استفاده کنیم:

$$z = H_{tG} \times N_{tG}$$

Tej Danesh

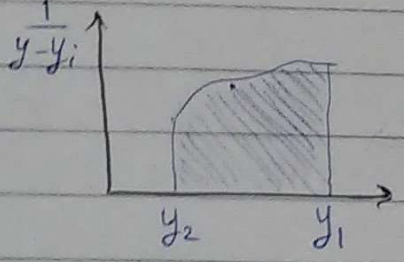
LearnElement.ir

Subject: Date:

$$(1-y)_{im} = \frac{(1-y_i)-(1-y)}{\ln\frac{1-y_i}{1-y}} \approx \frac{(1-y_i)+(1-y)}{2}$$

$$N_{tG} = \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{y-y_i} + \frac{1}{2}\ln\frac{1-y_2}{1-y_1}$$

به صورت عددی انتگرال گیری می‌شود



$$dy = y\,d(\ln y) \Rightarrow N_{tG} = 2.303\int_{\log y_2}^{\log y_1} \frac{y}{y-y_i}\,d(\log y) + 1.152\log\frac{1-y_2}{1-y_1}$$

* با فرض اینکه محلول رقیق باشد ($y < 5\%$)

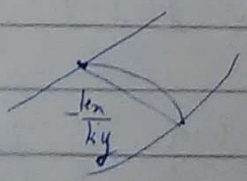
$$N_{tG} = \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{y-y_i} + \frac{1}{2}\ln\frac{1-y_2}{1-y_1}$$

$$\Rightarrow N_{tG} = \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{y-y_i} = \frac{y_1-y_2}{(y-y_i)} = 1.0$$

بین دو نقطه از ارتفاع برج ارتفاعی از بستر وجود دارد که تغییرات غلظت بالا و پایین برج با هم برابر کرده کل سازی است.

$$z = H_{tG} \times N_{tG}$$

$$F_G.a \approx k_y.a$$



$z = H_{tL} * N_{tL}$ به طور مشابه اگر روابط را برای مایع بنویسیم

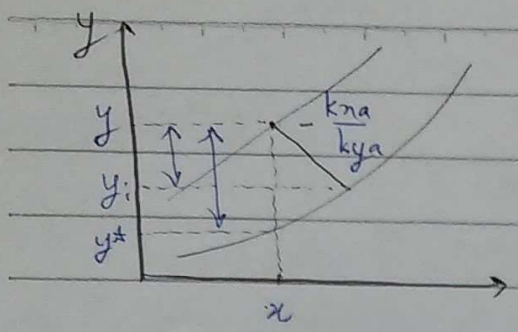
اگرچه ممکن است $H_{tL} \neq H_{tG}$ ، $N_{tL} \neq N_{tG}$ ولی z یکسان است.

* روابط به دست آمده برای برج دفع نیز مشابه است.

Taj Danesh

LearnElement.ir

Subject: Date:



ضریب کلی و واحدهای کلی انتقال جرم:

$$N_A = K_G (y - y^*)$$

(شیب خطی تعادلی ثابت باشد)

انتقالی

تعداد واحدهای کلی فاز گاز N_{toG}

ارتفاع یک واحد انتقالی کلی فاز گاز H_{toG}

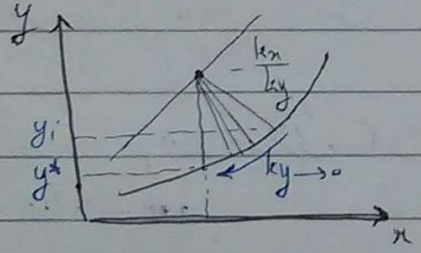
$$Z = N_{toG} * H_{toG}$$

$$N_{toG} = \int_{y_2}^{y_1} \frac{(1-y)_{*m}}{(1-y)(y-y^*)}\, dy \qquad (1-y)_{*m} = \frac{(1-y^*)-(1-y)}{\ln\left(\frac{1-y^*}{1-y}\right)}$$

$$\Rightarrow N_{toG} = \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{y-y^*} + \frac{1}{2}\ln\left(\frac{1-y_2}{1-y_1}\right)$$

$$\Rightarrow H_{toG} = \frac{G}{F_{oG}\, a} = \frac{G}{a k_y (1-y)_{*m}} = \frac{G}{K_G a P_t (1-y)_{*m}}$$

در صورتی که شرایطی داشته باشیم که فاز کنترل کننده، فاز گازی باشد $k_y \to 0$ در این صورت به جای y_i می‌توانیم از y^* استفاده کنیم و از ضریب انتقال جرم فردی به جای کلی استفاده کنیم



* کانال های ریق:

$$N_{toG} = \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{y-y^*}$$

$y^* = mx + r$ فرض کنیم

و چون کانال ریق است فرض می‌کنیم L و G ثابت هستند.

$$y = \frac{L}{G}(x - x_2) + y_2$$

Taj Branch

LearnElement.ir

$$y - y^* = \left(\frac{L}{G} - m\right)x - \frac{L}{G}x_2 + y_2 - r$$
$$= qx + s$$

$$dy = \frac{L}{G}dx$$

$$N_{toG} = \frac{L}{G}\int_{x_2}^{x_1} \frac{dx}{qx+s} = \frac{L}{Gq}\ln\frac{qx_1+s}{qx_2+s}$$

$$\Rightarrow N_{toG} = \frac{L}{Gq}\ln\frac{(y-y^*)_1}{(y-y^*)_2}$$

$$y_1 - y_2 = \frac{L}{G}(x_1 - x_2) \quad (1)$$

$$\begin{cases} (y-y^*)_1 = qx_1 + s \\ (y-y^*)_2 = qx_2 + s \end{cases}$$

$$\Rightarrow (y-y^*)_1 - (y-y^*)_2 = q(x_1 - x_2) \quad (2)$$

$$(1)/(2) \quad \frac{y_1 - y_2}{(y-y^*)_1 - (y-y^*)_2} = \frac{L}{Gq} \Rightarrow N_{toG} = \frac{y_1 - y_2}{(y-y^*)_m}$$

* یکی از حالاتی که در معادلات بالا صدق می‌کند وقتی است که تبدیل یک مسئله از فازی هنری تبعیت کند.

(تا سر سینی‌های چند جزئی)

* حذف { non-isotherm / سینی‌های چند جزئی

Taj Danesh

LearnElement.ir

Subject: حل تمرین انتقال جرم

Date:

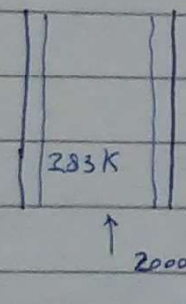
$$P_{AG} = y_A P_t = H_A x_A \rightarrow y_A = \frac{H_A}{P_t} x_A$$ قانون هنری

$$y_A = m x_A \longrightarrow \begin{cases} y_{AG} = m x_A^* \\ y_A^* = m x_{AL} \end{cases}$$ قانون رائول $y_A P_t = x_A P_A^*$ یا $\ln P_A^* = \frac{A}{B+T_c} + C$

$$y_{AG} - y_A^* = (y_{AG} - y_{Ai}) + (y_{Ai} - y_A^*) \rightarrow m(x_{Ai} - x_{AL})$$

$m x_{Ai}$ $m x_{AL}$

$K_x = m K_y$ رابطه $k_x = m k_y$: رابطه ضرایب انتقال جرم در دو فاز یکسان باشد.



حل: $P_A = H_A x_A \quad H_A = 550 \frac{atm}{mol\ frac.}$

$$Re = \frac{4\Gamma}{\mu} \qquad Sh_L = \left[\frac{3}{2\pi} \frac{\delta}{D} Re_L Sc_L\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$Sh_L = \frac{k_c \delta}{D} \Rightarrow k_x = \frac{k_L}{C} \cdot C = \left(\frac{\rho}{M}\right)_{H_2O}$$

$$Sh_G \begin{cases} \text{لایه مرزی آرام} & 0.023\, Re^{0.83} Sc^{1/3} \\ \text{لایه مرزی مغشوش} & 0.664\, Re^{1/2} Sc^{1/3} \end{cases}$$

$$\frac{1}{K_G} = \frac{1}{k_G} + \frac{H_A}{k_x}$$

$$Sh_G = \frac{k_c d}{D_{A-B}} \qquad k_G = \frac{k_c}{RT}$$

LearnElement.ir

Subject: .....

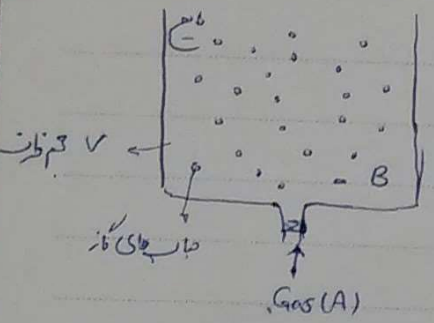
Date: .....

Taj Danish

LearnElement.ir

Subject:
Date

12_1 : کلاس 7 (TA)



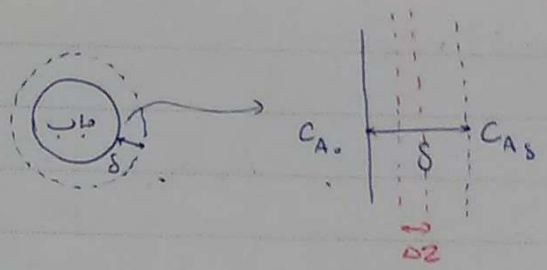
S : سطح مشترک حباب با مایع

فرضیات :
1_ تمام مایع ساکن نگاه شده.
2_ غلظت جزء A در تمام مایع کم است.
3_ غلظت روی سطح حباب برابر حلالیت A در B می باشد.
4_ غلظت در تمام مایع به غلظت حلالیت کم جزء A در اثر آنی ثابت است.

$a_p \left(\frac{m^2}{m^3}\right)$ $\quad A \longrightarrow B$

$a_p = \frac{dS}{dV}$ $\quad r_A = K'' C_A$

$dS = a_p A dz$



موازنه جرم برای اجزا :

$$A N_A\big|_z - A N_A\big|_{z+\Delta z} - K'' C_A A \Delta z = 0$$

$$\Rightarrow \frac{dN_A}{dz} + K'' C_A = 0 \longrightarrow D_A \frac{d^2 C_A}{dz^2} - K'' C_A = 0$$

به آزمایگاه غلظت A بسیار کم است C برای تمام داخل dl می رود.
دیفرانسیل

$$\Rightarrow r^2 - \frac{K''}{D} = 0 \longrightarrow r = \pm\sqrt{\frac{K''}{D}} \Rightarrow \frac{C_A}{C_{A_0}} = \frac{\sinh\phi\cosh\phi\xi + (B - \cosh\phi)\sinh\phi\xi}{\sinh\phi}$$

شرایط مرزی
$$\begin{cases} z = 0 & C_A = C_{A_0} \\ z = \delta & C_A = C_{A_S} \end{cases}$$

$$\xi = z/\delta \quad \phi = \sqrt{\frac{K''}{D}}\,\delta \quad B = \frac{C_{A_S}}{C_{A_0}}$$

$$S\left(-D_{AB}\left.\frac{dC_A}{dz}\right|_S\right) = -V K'' C_{AB}$$

* C_{A_S} از روی موازنه کل بر جزء A بدست می آید :

غلظت در bulk مایع

$$\Rightarrow B = \frac{1}{\cosh(\phi) + \frac{S}{V\delta}\sinh\phi}$$

* C_{A_0} را نیز می توان از قانون هنری بدست آورد.

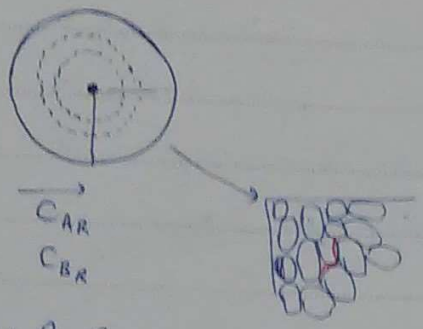
$$y_A = H \cdot x_A \checkmark$$

PqPCO

LearnElement.ir

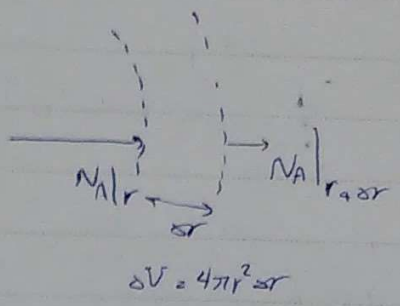
Subject:
Date

مثال: نفوذ واکنش شیمیایی درکاتالیزور متخلل:



$A + C \longrightarrow B + C$

کاتالیست



$\delta V = 4\pi r^2 \delta r$

موازنه جرم:

$$N_A \cdot A|_r - N_A \cdot A|_{r+\delta r} - K''(4\pi r^2 \delta r) C_A = 0$$

$A = 4\pi r^2$

$K'' = K(a) \cdot a \; \frac{m^2}{m^3}$

K: ضریب کاتالیست $\frac{mol}{m^2 \cdot s}$

* جهت انتقال جرم را در جهت کور نقطات در نظر می‌گیریم. مثبت

$$\Rightarrow \frac{1}{r^2}\frac{d}{dr}\left(r^2 \frac{dC_A}{dr}\right) = K'' C_A \qquad \text{تغییر متغیر } f = \frac{C_A}{r}$$

$$\Rightarrow \frac{d^2 f}{dr^2} = \frac{K_a}{D} f \Rightarrow \frac{C_A}{C_{AR}} = \frac{C_1}{r}\cosh\left(\sqrt{\frac{ka}{D}}\, r\right) + \frac{C_2}{r}\sinh\sqrt{\frac{ka}{D}}\, r$$

حالت مبهم $\frac{0}{0}$ دارد

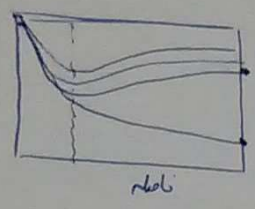
$r = 0 \longrightarrow C_A = \text{finite} \longrightarrow C_1 = 0$

$r = R \longrightarrow C_A = C_{AR}$

$$\Rightarrow \frac{C_A}{C_{AR}} = \frac{R}{r}\,\frac{\sinh\left(\sqrt{\frac{ka}{D}}\, r\right)}{\sinh\left(\sqrt{\frac{ka}{D}}\, R\right)}$$

LearnElement.ir

شدت تغییرات فشار بسیار بیشتر از تغییرات دما است.



$$\pi^{0.71}\sqrt{1-\pi^{0.285}} - 0.129 = 0$$

* این معادله دو ریشه دارد که بستگی به عدد اولیه دارد. در صورتی که عدد اولیه نزدیک ۰ باشد، ریشه به دست آمده برای subsonic است. ولی در صورتی که عدد اولیه نزدیک ۱ باشد supersonic به دست می‌آید.

* در supersonic به دلیل کاهش شدید ضخامت، S فقط نباید افزایش یابد تا آن را جبران کند. $\dot{m} = \rho u S$

$D_H = 4r_H$

انتشار جرم TA

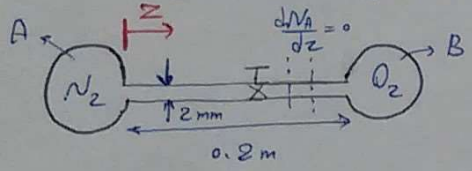
$$aA + bB + cC + \dots \longrightarrow rR + sS + \dots$$

نسبت همراه با برگشت ناپذیر:

$$a = 1 + \frac{b}{a} + \frac{c}{a} + \dots - \frac{r}{a} - \frac{s}{a} - \dots \qquad \frac{N_a}{a} = \frac{N_b}{b} = \dots = -\frac{N_R}{r} = \dots$$

$$N_A = \alpha \sum_{i=1}^{N} N_i = \alpha N_t$$

مثال: جرم دو گاز بسیار بیشتر از جرم اتم است. شار مولی جرمی و سرعت جرمی را به دست آورید.



* انتقال گاز ← نفوذ مثال

چون دبی انتقال گاز ها کم است ← می توان آنرا بصورت پایا حل کرد.

$P_t = 1\ atm$ $\quad D_{O_2-N_2} = 0.23 \times 10^{-4}\ m^2/s$

$T = 316\ K$

$N_A = -N_B \quad N_t = 0 \Rightarrow N_A = J_A + y_A N_t = -cD_{AB}\frac{dy_A}{dz}$

N_A ثابت است $\Rightarrow N_A = -cD_{AB} \times \frac{1}{\delta}(y_{A_2} - y_{A_1})$ $\quad c = \frac{P_t}{RT}$ $\quad y_{A_2} = 0$ $\quad y_{A_1} = 1$

$$\Rightarrow N_A = \frac{1.1\times10^5 \times 0.32\times10^{-4}}{8.314 \times 316 \times 0.2} = 4.4\times10^{-3}\ \frac{mol}{m^2.s}$$

$N_B = -N_A$

$N_t = 0$

سرعت مولی شار جرمی:

$$N_A \times A = N_A \times \frac{\pi}{4}(2\times10^{-3})^2 = 1.38\times10^{-8}\ \frac{mol}{s}$$

سرعت مولی: چون N_t صفر است ← صفر است

$$V^* = \frac{N_A + N_B}{c} = 0$$

سرعت جرمی

$$V = \frac{M_A N_A + M_B N_B}{\rho} = \frac{M_A N_A + M_B N_B}{c_A M_A + c_B M_B} \quad (-N_A,\ c_B = c - c_A) = \frac{M_A N_A - M_B N_A}{c_A(M_A - M_B) + c_t M_B}$$

$$= \frac{1}{c}\frac{N_A(M_A - M_B)}{y_A(M_A - M_B) + M_B}$$

چون سرعت مثبت است ← از N_2 به O_2 حرکت می‌کند

LearnElement.ir

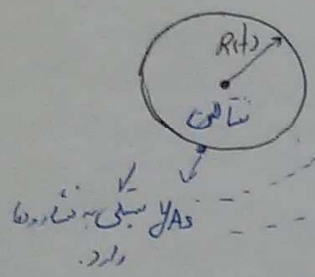
$\Rightarrow V = -1.52\times10^{-5}\ \frac{m}{s}$ سرعت متوسط جریان

$(y_A)_c$: در سطح

$\frac{y_A - y_{A_1}}{y_{A_2} - y_{A_1}} = \frac{z}{\delta} \Rightarrow y_A = \frac{1}{2}$

نرخ جریان $n_t = N_A(M_A - M_B) = 1.76\times10^{-2}\ \frac{gr}{m^2/s}$

مثال: تغییرات $R(t)$ برحسب زمان را بدست آورید.



حالت P.S.S

$\frac{dG_A}{dr} = 0 \qquad G_A = N_A \cdot A = N_A \cdot (4\pi r^2)$

$$\int_{R(t)}^{\infty} \frac{G_A}{-4\pi c D_{AB} r^2}\, dr = \int_{y_{As}}^{0} \frac{dy_A}{1-y_A}$$

$$\Rightarrow \frac{G_A}{4\pi c D_{AB}} \left[\frac{1}{\infty} - \frac{1}{R(t)} \right] = -\ln\left(\frac{1}{1-y_{As}}\right)$$

$$\Rightarrow G_A = 4\pi c D_{AB} R(t) \ln\left(\frac{1}{1-y_{As}}\right) \qquad m_A = \rho V \Rightarrow \frac{dm_A}{dt} = \rho \frac{dV}{dt} = \rho\, 4\pi r^2 \frac{dR}{dt}$$

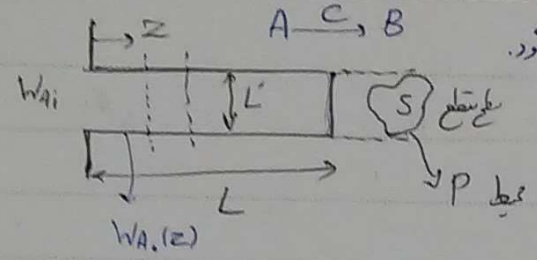
$$\Rightarrow \frac{1}{M_W}\frac{dm_A}{dt} = \frac{dn_A}{dt} = -\frac{\rho 4\pi R^2}{M_W}\frac{dR}{dt} \qquad N_A = \frac{1}{4\pi R^2}\frac{dn_A}{dt} = -\frac{\rho}{M_W}\frac{dR}{dt}$$

$$C = \frac{P_t}{RT} \Rightarrow \frac{-\rho 4\pi R^2}{M_W}\frac{dR}{dt}\frac{R_g T}{P_t 4\pi D_{AB}}\left(\frac{1}{R}\right) = \ln(1-y_{As})$$

$$\Rightarrow \int_{R_0}^{0} \frac{\rho R_g T}{M_W P_t D_{AB}} \frac{R\,dR}{\ln(1-y_A)} = \int_{0}^{t_f} dt$$

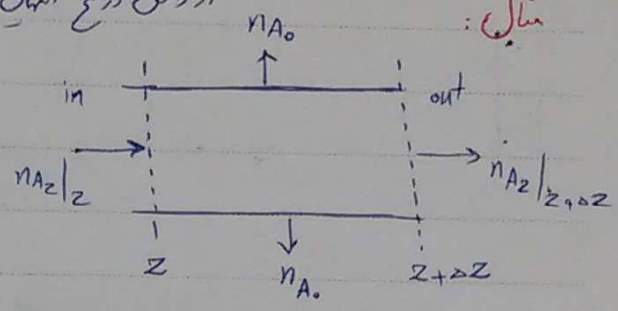
LearnElement.ir

Subject:
Date



از واکنش در سطح انتهایی صرف نظر شود.

مثال:



$L/L' \gg 1 \Rightarrow$ یک بعدی

نرخ واکنش در سطح کاتالیست

$$r_A'' = f(W_{A_0}) \quad \frac{gr}{m^2.s} = K'' W_{A_0} \quad n_{A_0} = P_0 \Delta z (-r_A'') = P_0 \Delta z f(W_{A_0})$$

$$\Rightarrow S\left[n_A|_z - n_A|_{z+\Delta z}\right] - P_0 \Delta z f(W_{A_0}) = 0 \Rightarrow -\frac{dn_{Az}}{dz} = \frac{P}{S} f(W_{A_0})$$

$$N_A = J_A + \cancel{V W_A}^{\circ} \qquad V = \cancel{V_A W_A}^{\circ} + V_B W_B$$

سرعت توده ↓ — A خالص — $S.S$

$$-\rho D_{AB} \nabla W_A$$

فرض یک بعدی

$$\Rightarrow -\frac{d}{dz}\left(-\rho D_{AB} \frac{dW_A}{dz}\right) = \frac{P}{S} f(W_{A_0}) \longrightarrow W_A = W_{A_0}$$

$$\Rightarrow \rho D_{AB} \frac{d^2 W_A}{dz^2} = \frac{P}{S} K'' W_A \Rightarrow \frac{d^2 W_A}{dz^2} - \frac{P K'' L^2}{S \rho D_{AB}} W_A = 0$$

$m^2 L^2$

بدون بعد $x = \frac{z}{L}$; $0 \le x \le 1$

B.C

① $W_A = W_{Ai}$; $x = 0$

② $\frac{dW_A}{dz} = 0$; $x = 1$

$$\Rightarrow W_A = C_1 \cosh(mLX) + C_2 \sinh(mLX)$$

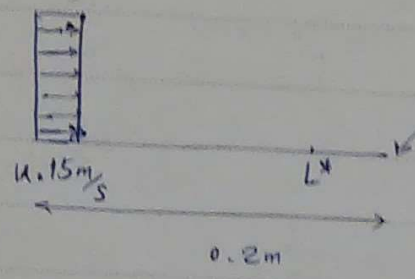
$$\Rightarrow \frac{W_A}{W_{Ai}} = \frac{\cosh(mL(1-X))}{\cosh(mL)} \qquad G_A = n_A . S = \rho D_{AB} S . M . L \frac{\sinh(mL)}{\cosh(mL)}$$

PqPCO

LearnElement.ir

Subject:
Date

مثال:



$Nu_x = 0.332\, Re_x^{1/2}\, Pr^{1/3}$ $\quad Re_x < 10^5$

$Nu_x = 0.0296\, Re_x^{0.8}\, Pr^{1/3}$ $\quad 5\times10^5 < Re < 10^8$

$\frac{m}{s} \times m^2 \times \frac{kg}{m^3} = \frac{kg}{s}$

$Sh = \frac{K_L L}{D_{AB}}$

$$\Rightarrow \begin{cases} Sh_x = 0.332\, Re_x^{1/2}\, Sc^{1/3} \\ Sh_x = 0.0296\, Re_x^{0.8}\, Sc^{1/3} \end{cases}$$

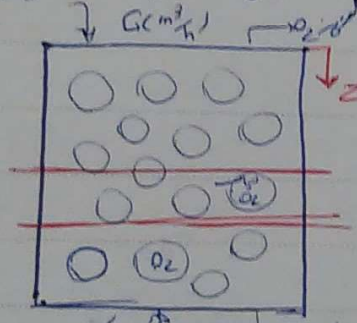
$Sh = \frac{K_L x}{D_{AB}} \Rightarrow$

$$\bar{K}_L = \frac{\int_0^{L^*} K_L\, dx + \int_{L^*}^{L} K_L\, dx}{L}$$

مثال: اشباع آب: یعنی بیت انتقال فقط از حباب به آب است.

$n_A = K_L A (P_A - P_{A_0})$

H_2O خالص



فرضیات: - مقاومت O_2 در آب کم است.

- G در هر مقطع ثابت است.

- تغییر ناچیز است در راستای z مقاومت O_2 در آب (کم است)

q_p: سطح ویژه حباب‌ها به صورت یکنواخت

K_L: ضریب انتقال جرم فاز آبی

C_A^*: O_2 در آب

O_2 تأثیری روی flowrate ندارد.

$N_A =$ حرکت توده + نفوذ

نفوذ ناچیز است

می‌توان صرف نظر کرد آب خالص

سطح حباب‌ها در آن

$$A\cdot N_A|_z - N_A\cdot A|_{z+\Delta z} + K(C_A^* - C_{A_0})\underbrace{(A\cdot\Delta z)\, a_p} = 0$$

input output

$$\xrightarrow[\Delta z \to 0]{\div \Delta z} \frac{d(N_A)}{dz} - K a_p (C_A^* - C_A) = 0$$

$N_A = \frac{G}{A} C_A \left(\frac{m^3}{s} \times \frac{kmol}{m^3} \times \frac{1}{m^2}\right)$

$$\rightarrow \frac{G}{A}\frac{dC_A}{dz} - K a_p (C_A^* - C_A) = 0 \Rightarrow \int_{C_{A_0}}^{C_A} \frac{dC_A}{C_A^* - C_A} = \frac{K a_p A}{G} \int_0^z dz$$

PAPCO

LearnElement.ir

Subject:
Date

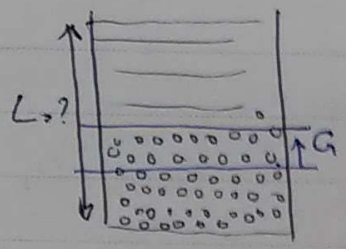
$$\Rightarrow \ln \frac{C_A^* - C_A}{C_A^* - C_{A_0}} = -\frac{K_{ap} A z}{G}$$

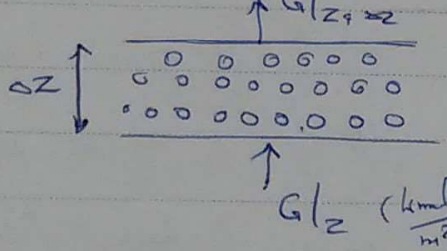
برای a_p حجم گاز / حجم کل $= \varepsilon \longrightarrow V_{\text{ذرات}} = V_{\text{کل}}(1-\varepsilon) \Rightarrow N \frac{\pi d_p^3}{6} = V_{\text{کل}}(1-\varepsilon)$

برای اینکه استفاده شود باید $C_A \longrightarrow C_A^*$ یعنی $z \longrightarrow \infty$ یعنی طول بستر باید بی‌نهایت باشد.

$4CO_{(g)} + Ni \longrightarrow Ni(CO)_{4(g)}$: واکنش سریع

$\varepsilon = 0.3$ $\quad CO : A$ $\quad y_{A_2} = 0.005$ $\quad y_{A_1} = 1$





$$N_A = \frac{N_A}{\sum N_i} F \ln \frac{\frac{N_A}{\sum N_i} - y_{A_2}}{\frac{N_A}{\sum N_i} - y_{A_1}}$$

G_0 ↑ CO

$N_{CO} = -4 N_{Ni(CO)_4}$ $\quad N_{Ni} = 0$ $\quad \sum N_i = N_{CO} + (-\frac{1}{4}) N_{CO} = \frac{3}{4} N_{CO}$

$\frac{N_A}{\sum N_i} = 4/3$ $\quad$ چون واکنش آنی است : $y_{A_2} = 0$ (روی سطح کاتالیست) $\quad y_{A_1} = y_A$ غلظت در توده

نسبت به سمت نیکل

$$\Rightarrow N_A = \frac{4}{3} F \ln \frac{4/3}{4/3 - y_A}$$

$$y_A G A|_z - y_A G A|_{z+\Delta z} - N_A \cdot a_p A \Delta z = 0$$

$$\Rightarrow -\frac{d(y_A G)}{dz} = N_A \cdot a_p \Rightarrow -d(G y_A) = \frac{4}{3} F \ln \frac{4/3}{4/3 - y_A} a_p dz$$

مقدار تبدیل شده

مقدار CO $= (G_0 - G) \times \frac{1 \text{ mol CO}}{3/4 \text{ mol CO}}$ مقدار کل (ورودی)

$\Rightarrow G_0 - (G_0 - G)\frac{4}{3} = G y_A$

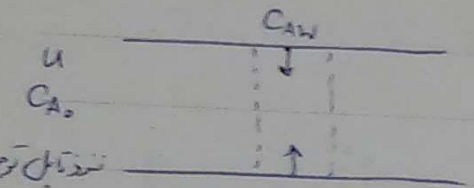
PqPCO

LearnElement.ir

Subject:
Date

CO میزان مصرف : $G_0 y_0 - G y_A = G_0 - G y_A = \frac{4}{3}(G_0 - G)$

$\Rightarrow \quad G = \frac{G_0}{4 - 3y_A}$

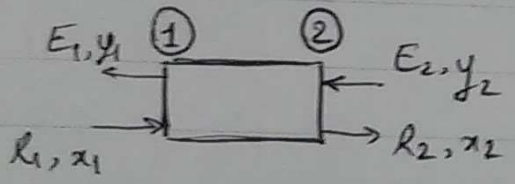


$k(C_{AW} - C_A) \times 2\pi Rl = N_A(\pi R^2 l)\big|_{z+\Delta z} - N_A(\pi R^2 l)\big|_z$

$N_{Az} = -D_{AB}\frac{dC_A}{dz} + C_A \frac{u}{\bar{v}}$

TA انتقال جرم : پنجشنبه 10 تیر

cocurrent مرحله‌ای counter-current چند مرحله‌ای



crossflow : $\frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0} = -\frac{R_s}{E_s}$

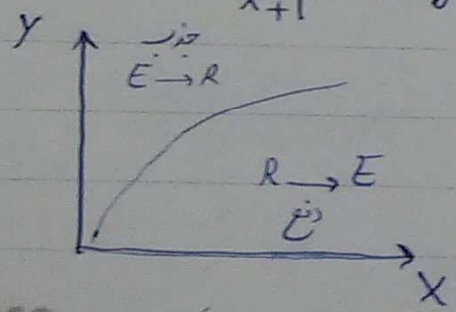
& counter current

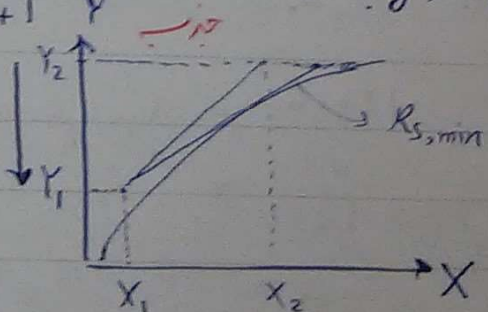
$\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{R_s}{E_s}$

درصد بازیابی جزء : $\frac{E_1 y_1 - E_2 y_2}{E_1 y_1} = \frac{Y_1 - Y_2}{Y_1}$

$R = (1.2 - 2) R_{min} \qquad E = (1.5 - 2.5) E_{min}$

تبدیل x و y به X و Y : $x = \frac{X}{X+1} \qquad y = \frac{Y}{Y+1}$





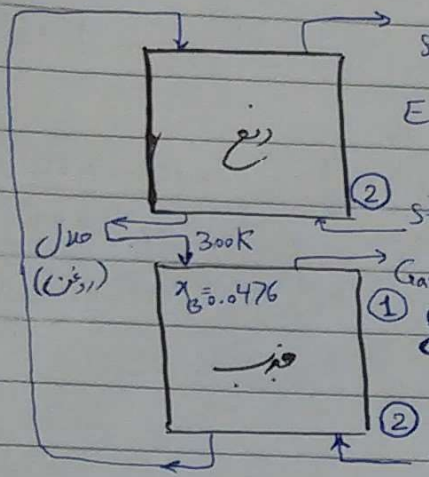
Counter-current

P4PCO

LearnElement.ir

قانون هنری

@T → P^* ⇒ $y = \frac{P^*}{P_t} x$ → $\frac{Y}{Y+1} = \frac{P^*}{P_t} \frac{X}{X+1}$



مثال: ورودی گاز جزء ②:

دبی حجمی گاز $1 \frac{m^3}{s}$ در 300K و 1atm

بازیابی: 85٪ (خروجی 15٪ بنزن)

در برج جذب دو برابر تعداد طلال min

در برج دنع 1.5 برابر تعداد حداقل طلال

R_{min} جذب ؟

E_{min} دنع ؟

$x_{benzene} = 7.4\%$

دبی مولی $E = \frac{PV}{RT} = 0.041 \frac{kmol}{s}$: بازده آل

$E_s = E(1 - y_1) = 0.041(1 - 0.074) = 0.038 \frac{kmol}{s}$

$Y_2 = \frac{y_2}{1-y_2} = 0.08$ $\quad X_1 = \frac{0.0476}{1-0.0476} = 0.05$

$Y_1 = (1 - \text{بازده}) Y_2 = 0.15\, Y_2 = 0.012$ → $y_1 = \frac{Y_1}{1+Y_1}$

$P^*_{Benzene} = 0.136$ atm ← 300K دمای تعادل آنتان

$\Rightarrow y = \frac{P^*}{P_t} x = \frac{0.136}{1} x$ $\quad y = 0.136x$

$\frac{Y}{Y+1} = 0.136 \frac{X}{X+1}$ منحنی تعادلی

$\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{R_{s,min}}{E_s} = \frac{R_{s\,min}}{0.038}$ $\quad$ (0.08, 0.012)

$X_2 \to X_{eq}$ $\quad X_1 \to 0.05$

$\Rightarrow \frac{Y_2}{Y_2+1} = 0.136 \frac{X_{eq}}{X_{eq}+1} \Rightarrow X_{eq} = 0.87$

LearnElement.ir

Subject: Date:

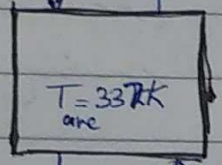
$$\frac{0.08-0.012}{0.87-0.05}=\frac{R_{S,min}}{0.038} \Rightarrow R_{S_{min}}=0.038\times 0.083\ \frac{kmol}{s}=3.15\times10^{-3}\ \frac{kmol}{s}$$

$$E_{ME}=\frac{Y_2-Y_1}{Y_2-Y_1^*} \qquad E_{MR}=\frac{X_2-X_1}{X_2^*-X_1}$$

$$R_S=2\times R_{S_{min}}=6.3\times10^{-3}\ \frac{kmol}{s} \longrightarrow \frac{R_S}{E_S}=\frac{6.3\times10^{-3}}{0.038}=\frac{0.08-0.012}{X_2-0.05}$$

$$\Rightarrow X_2=0.46$$

$X_1=0.46$ $Y_1=?$



$X_2=0.05$ steam $Y_2=0$

$P^*=1.77\,atm \qquad y=1.77x$

$$\Rightarrow \frac{Y}{Y+1}=1.77\frac{X}{X+1}$$

$$\Rightarrow \frac{R_S}{E_{S\,min}}=\frac{Y_2-Y_{1eq}}{X_2-X_1} \Rightarrow Y_{1eq}=1.1 \Rightarrow E_{S_{min}}=\frac{0.05-0.46}{-1.1}\times6.3\times10^{-3}$$

$$=2.35\times10^{-3}\ \frac{kmol}{s}$$

$$\Rightarrow E_S=1.5\times2.35\times10^{-3}=3.525\times10^{-3}\ \frac{kmol}{s}$$

$$\Rightarrow \frac{6.3\times10^{-3}}{3.525\times10^{-3}}=\frac{0-Y_1}{0.05-0.46} \longrightarrow Y_1=0.734$$

Taj Danesh

LearnElement.ir