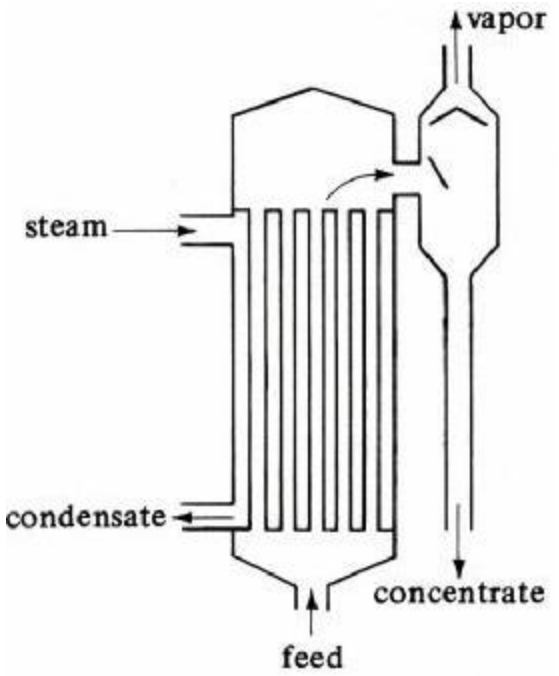
تبخیر کننده ها

- تبخیر: Evaporation

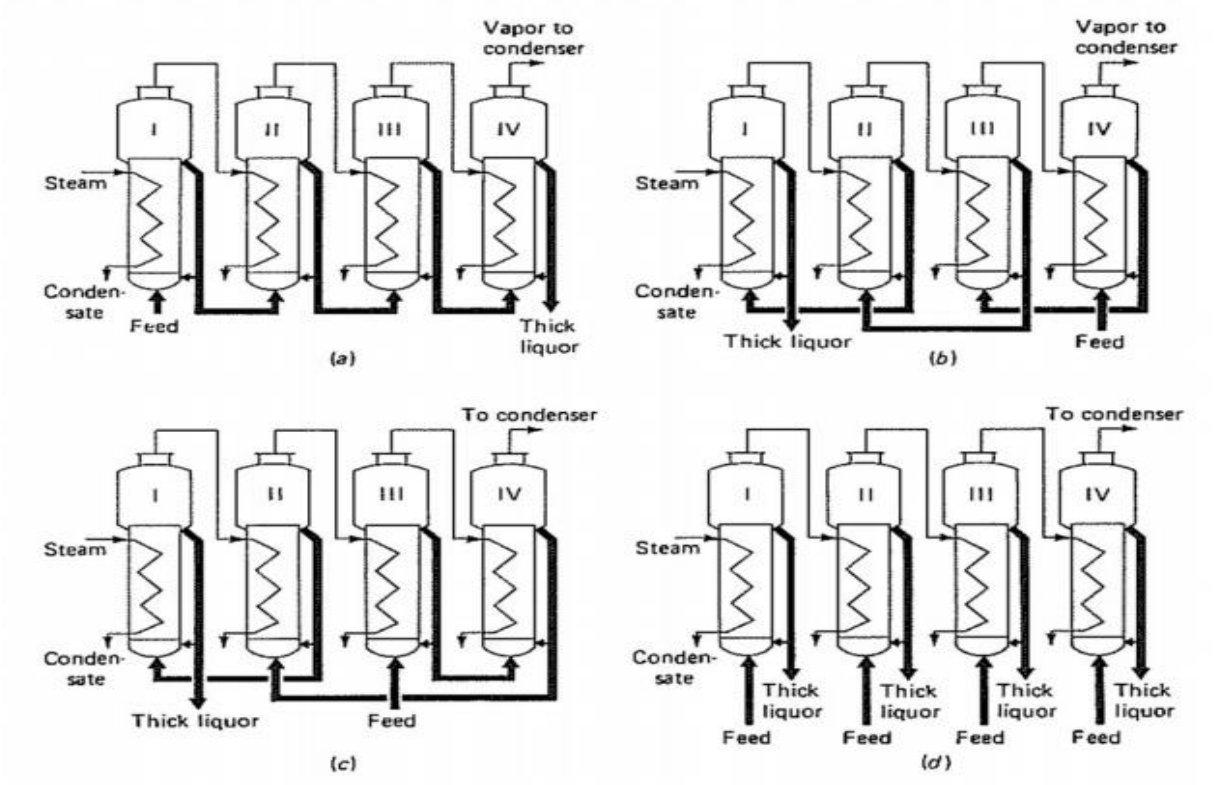
تغلیظ یک محلول رقیق با بخار نمودن مقداری از حلال آن را تبخیر گویند. در این فرایند عموماً هدف محلول غلیظ شده است، اما گاهی بخار کندانس شده می تواند محصول مد نظر باشد (تهیه آب مقطر)



- صرفه جویی (economy) : عبارتست از نسبت مقدار بخار تولید شده به مقدار بخار مصرف شده

$$Economy = \frac{Mass\ of\ \ Evaporated\ Solvent}{Mass\ of\ \ Steam\ used}$$

هر چه صرفه جویی بیشتر باشد بهتر است. در تبخیر کننده های چند مرحله ای ، ابتدا بخار (steam) برای حرارت دهی استفاده می شود. اما در مراحل بعدی از بخار خوراک برای گرم کردن استفاده می شود. در این حالت مقدار بخار تولید شده در کل مراحل بیشتر از مقدار بخار مصرف شده است و صرفه جویی به 2 تا 3 برابر می رسد



شکل ۴: روش‌های خوراک دهی: (a) مستقیم، (b) معکوس، (c) ترکیبی و (d) موازی[۱].

- Duhring Rule:

این قانون برای افزایش نقطه جوش می باشد. طبق این قانون نقطه جوش یک محلول با غلظت معین تابع خطی از نقطه جوش آب خالص در همان فشار است. این قانون در محدوده فشار بالا صادق نیست.

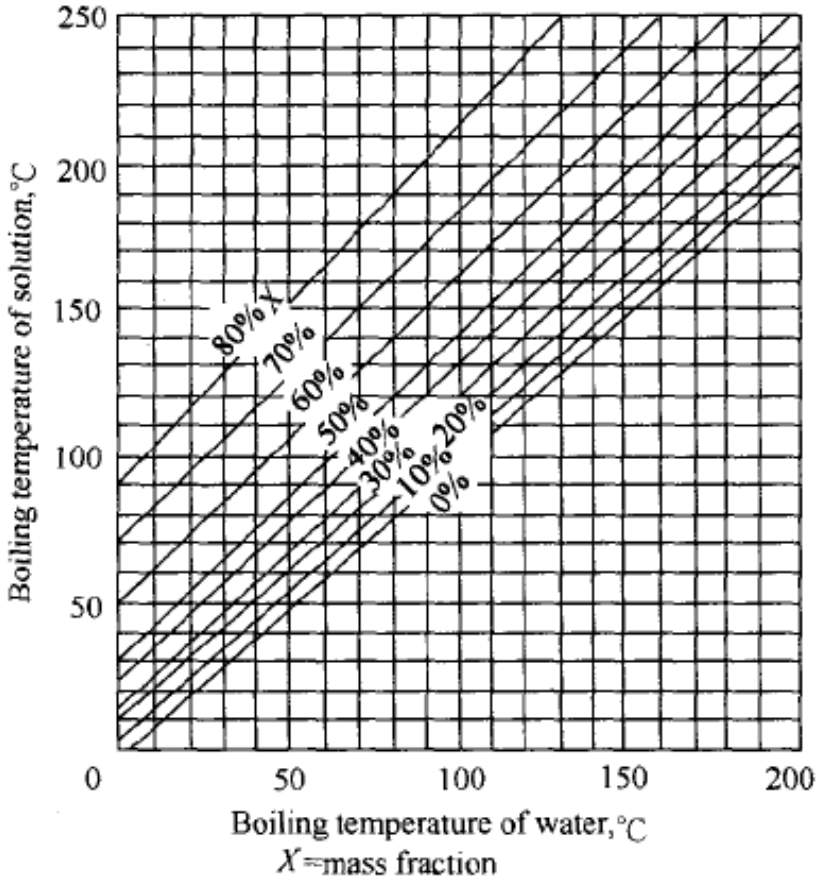


Fig. 5.10 Dühring lines, system sodium hydroxide–water.

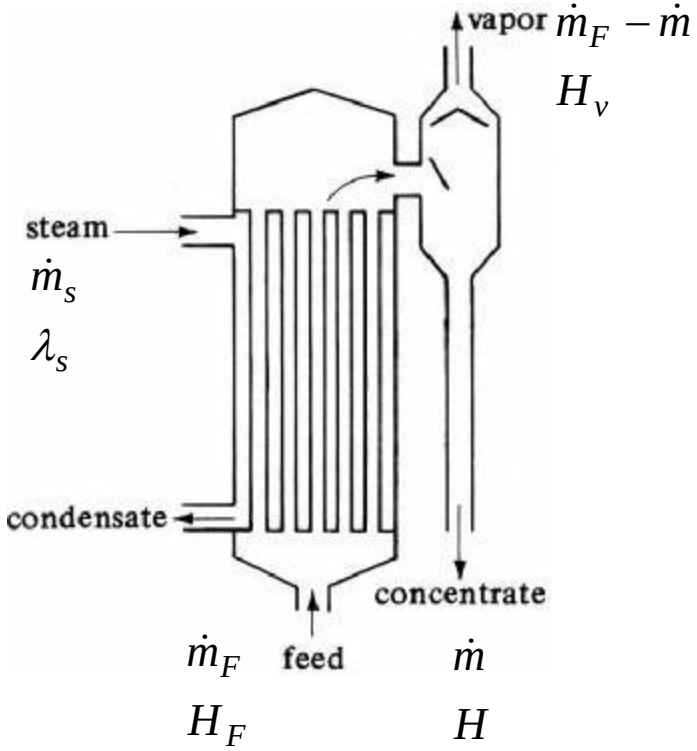
موازنه آنتالپی

- سیستم تک مرحله ای: single effect

$$q = \dot{m}_s \lambda_s = \dot{m}H + (\dot{m}_F - \dot{m})H_v - \dot{m}_F H_F = UA\Delta T$$

H آنتالپی محصول تغلیظ شده

H_v آنتالپی بخار سوپر هیت



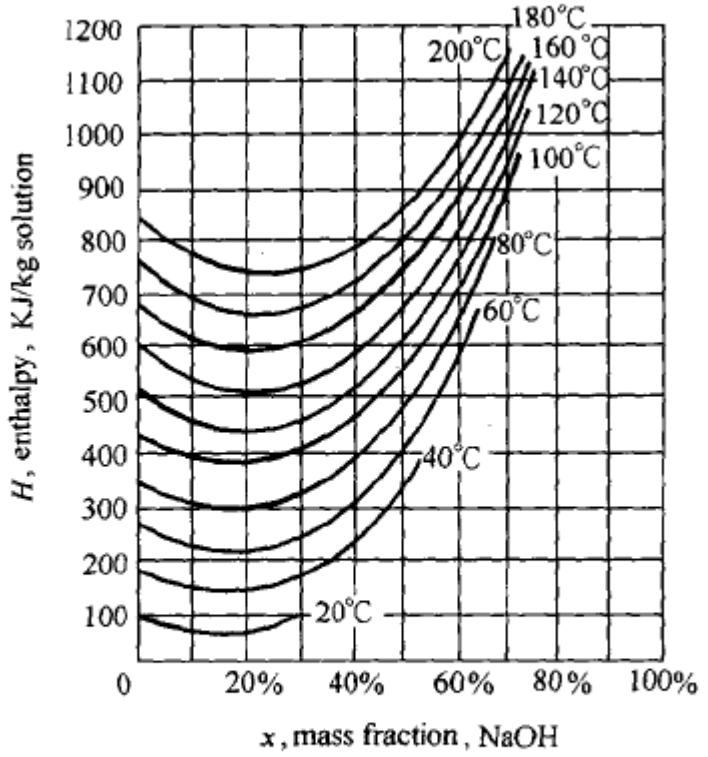


Fig.5.12 Enthalpy–concentration diagram, system sodium hydroxide-water.

- مثال: یک تبخیر کننده تک مرحله ای 20000 Ib/h محلول 20% وزنی NaOH را به 50 % وزنی تغلیظ می نماید. فشار گیج بخار آب، 20 psig و فشار مطلق در فضای بخار 1.93 psia هستند. ضریب کلی انتقال حرارت، 250 Btu/(ft².h.F)است. میزان صرفه جویی و سطح انتقال حرارت مورد نیاز را به دست آورید.

$$\dot{m}_F = 20000\frac{Ib}{h}$$

$$\dot{m}_F - \dot{m} = 20000 - 8000 = 12000\frac{Ib}{h}$$

$$X_F.\dot{m}_F = X\dot{m} \Rightarrow \dot{m} = \frac{0.2*20000}{0.5} = 8000\frac{Ib}{h}$$

$$p = 1.93 psia \Rightarrow T = 124°F$$

$$Duhring\ rule: T_{out_{0.5}} = 197°F \Rightarrow H\big|_{T=197°F, X=0.5} = 221\frac{Btu}{Ib}, \quad H_F = 55\frac{Btu}{Ib}$$

$$H_v(1.93 psia, 197°F) = 1149\frac{Btu}{Ib}$$

$$p = 34.7 psia \Rightarrow T_s = 259°F,\ \lambda_s = 939\frac{Btu}{Ib}$$

$$\dot{m}_s \times 939 = 12000 \times 1149 + 8000 \times 221 - 20000 \times 55 = 250A(259 - 197)$$

$$\dot{m}_s = 15400\frac{Ib}{h}$$

$$A = 930\, ft^2$$

$$Economy = \frac{12000}{15400} = 0.78$$

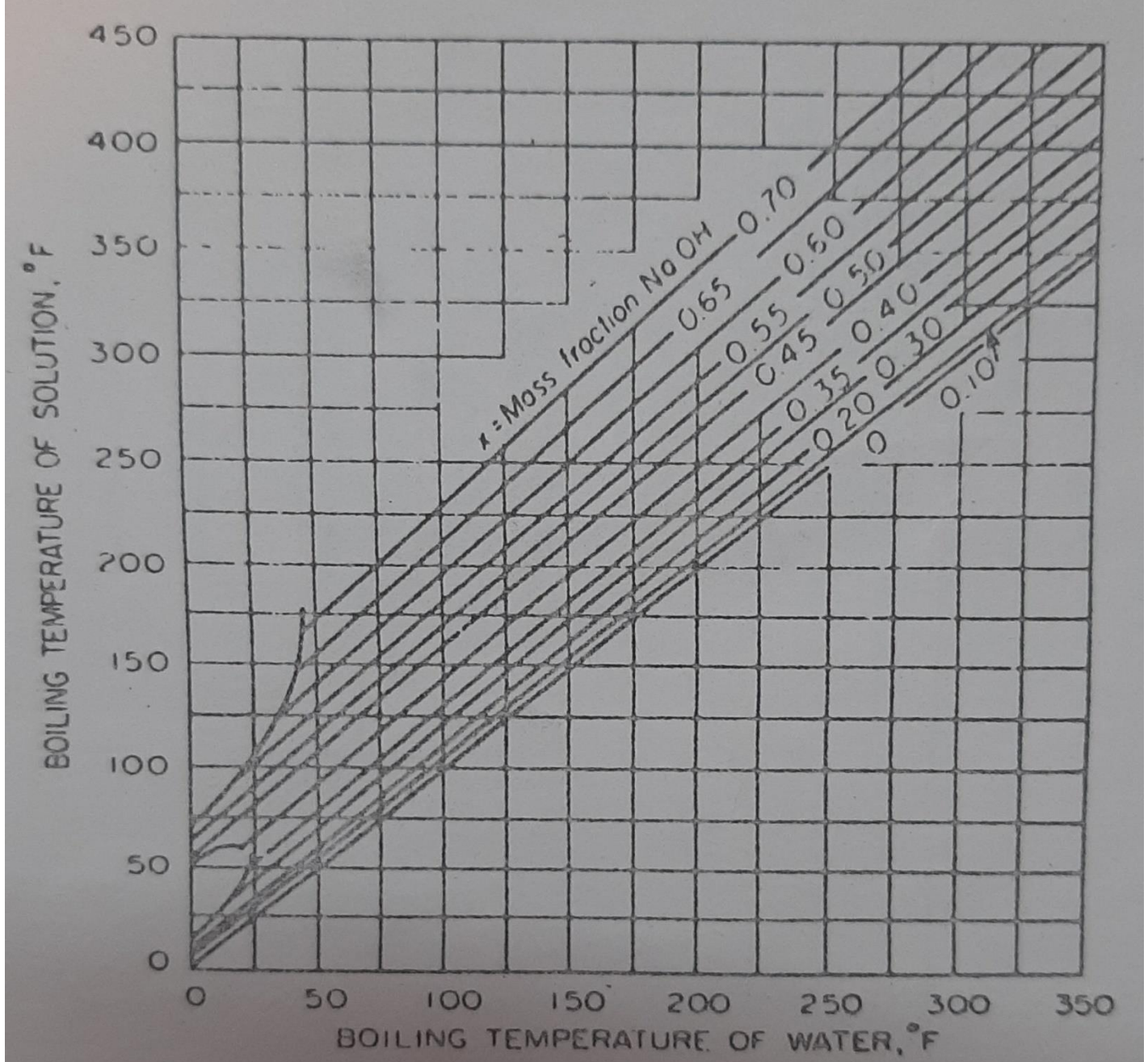
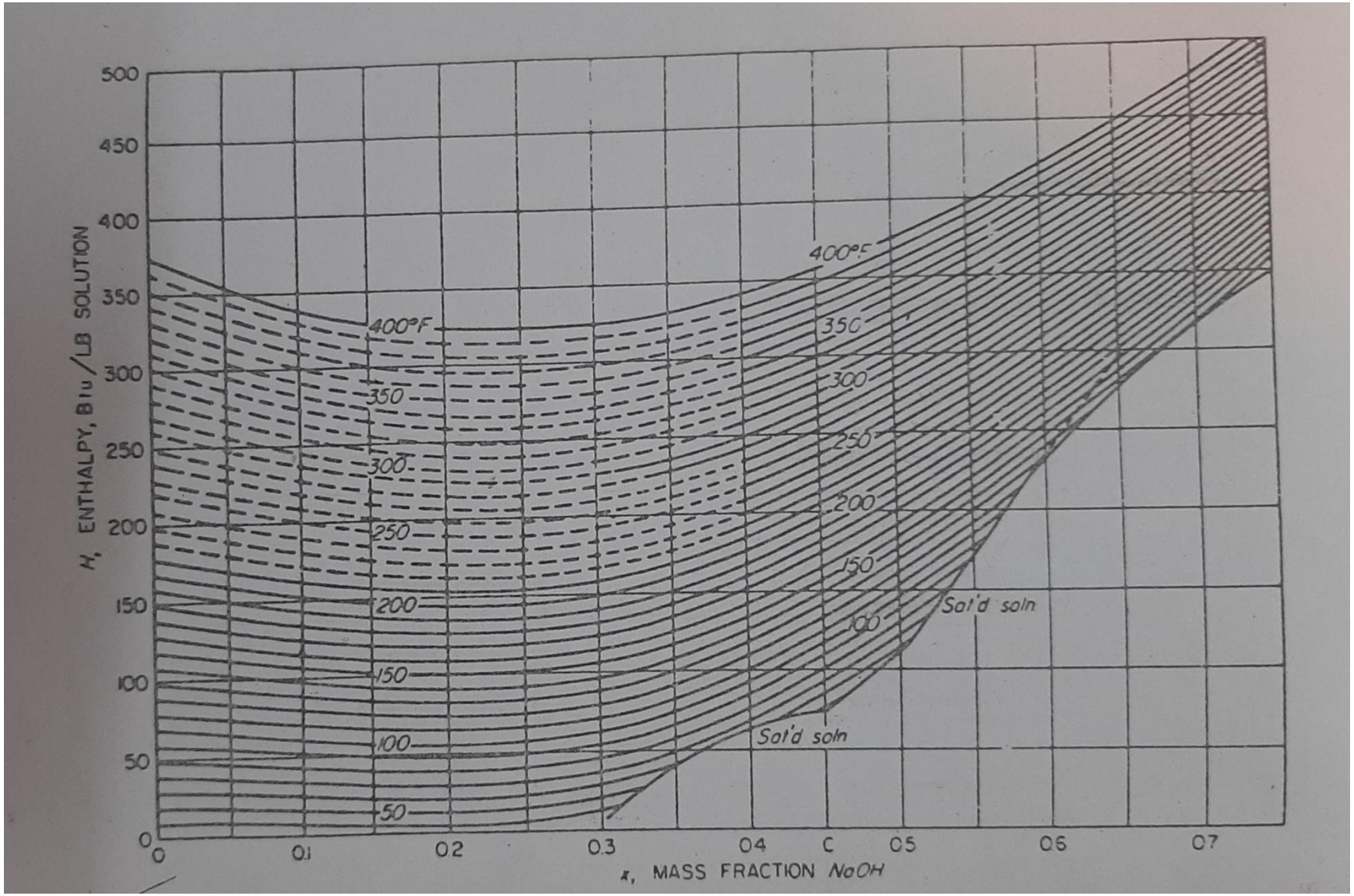


Figure 16-4 Dühring lines, system sodium hydroxide–water. (*After McCabe.*[3])

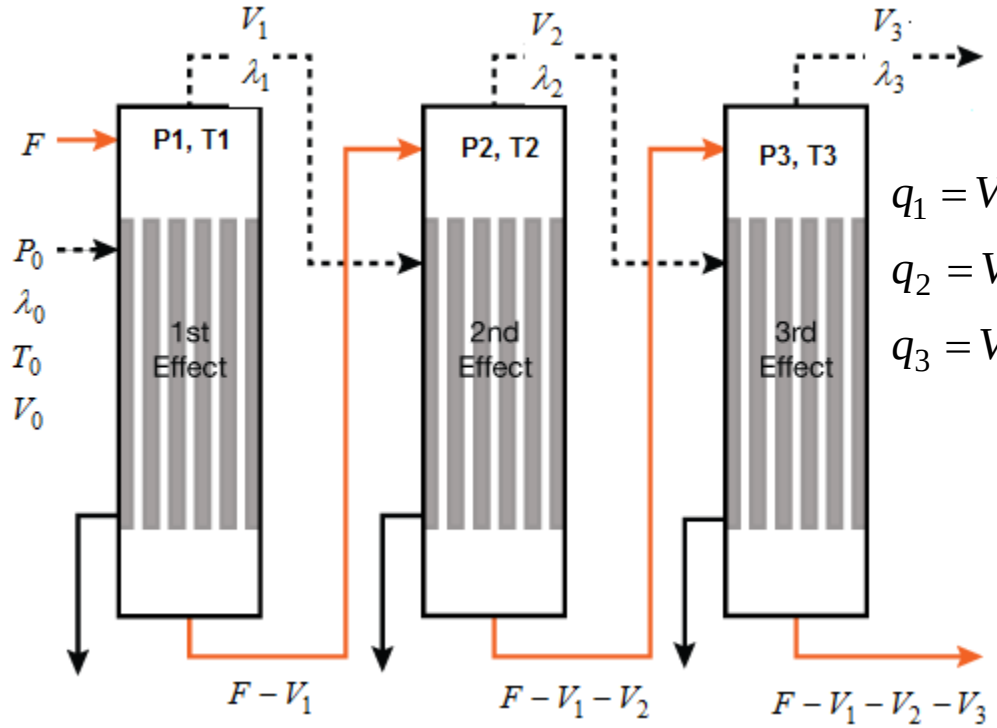

H, ENTHALPY, Btu/LB SOLUTION
500
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
400°F
350
300
250
200
150
100
50
400°F
350
300
250
200
150
100
Sol'd soln
Sol'd soln
0
0.1
0.2
0.3
0.4
C
0.5
0.6
0.7
x, MASS FRACTION NaOH

موازنه آنتالپی ساده شده

$$q = \dot{m}_s \lambda_s = \dot{m}_F C_p (T - T_F) + (\dot{m}_F - \dot{m})\lambda = UA\Delta T$$

- تقریب های معادله فوق: 1) گرمای انحلال محلول را در نظر نمی گیرد، 2) بخار را مافوق گرم در نظر نمی گیرد، 3) از افزایش نقطه جوش صرف نظر شده است.

تبخیر کننده چند مرحله ای



$$q_1 = V_0\lambda_0 = FC_p(T_1 - T_F) + V_1\lambda_1 = U_1A_1\Delta T_1$$
$$q_2 = V_1\lambda_1 = (F - V_1)C_p(T_2 - T_1) + V_2\lambda_2 = U_2A_2\Delta T_2$$
$$q_3 = V_2\lambda_2 = (F - V_1 - V_2)C_p(T_3 - T_2) + V_3\lambda_3 = U_3A_3\Delta T_3$$

برای ارائه حدس اولیه از اختلاف دماها فرض می کنیم گرمای محسوس نسبت به نهان تبخیر قابل صرف نظر باشد. در این حالت داریم:

$$V_0\lambda_0 = V_1\lambda_1 = V_2\lambda_2 = V_3\lambda_3$$
$$q_1 = q_2 = q_3$$
$$U_1A_1\Delta T_1 = U_2A_2\Delta T_2 = U_3A_3\Delta T_3$$
$$A_1 = A_2 = A_3 \Rightarrow U_1\Delta T_1 = U_2\Delta T_2 = U_3\Delta T_3$$

$$\Delta T = T_0 - T_3 = T_0 - T_1 + T_1 - T_2 + T_2 - T_3 = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3$$

$$\Delta T_1 = \Delta T \frac{\frac{1}{U_1}}{\frac{1}{U_1} + \frac{1}{U_2} + \frac{1}{U_3}}$$

$$\Delta T_2 = \Delta T \frac{\frac{1}{U_2}}{\frac{1}{U_1} + \frac{1}{U_2} + \frac{1}{U_3}}$$

$$\Delta T_3 = \Delta T \frac{\frac{1}{U_3}}{\frac{1}{U_1} + \frac{1}{U_2} + \frac{1}{U_3}}$$

•مثال: خوراکی با دبی 14.4 ton/h حاوی 10% جامد در 294 k به اولین مرحله تبخیر کننده سه مرحله ای وارد می شود. مایع غلیظ خروجی حاوی % 50 جامد در فشار 0.13 بار از فضای بخار مرحله سوم خارج می شود. مایعات غلیظ دارای ظرفیت حرارتی 4.18 kJ/kg.k هستند. ضمناً از افرایش نقطه جوش صرف نظر می شود. بخار آب اشباع در 205 kPa به بخش حرارتی اولین مرحله وارد می شود و بخار آب میعان یافته در هر مرحله به صورت هم دما با بخار آب خارج می شود. فرض نمایید که ضرایب انتقال حرارت کلی برای سه مرحله به ترتیب، 3.1، 2 و 1.1 $kw/m^2.k$ باشد. اگر سه مرحله دارای سطوح برابر باشد، سطح، اختلاف دماها، صرفه جویی و میزان بخار آب مصرفی را محاسبه نمایید.

$$\left.\begin{array}{l} P_0 = 205kPa \xrightarrow{saturated\ steam\ table} T_0 = 394K \\ P_3 = 0.13bar \xrightarrow{saturated\ steam\ table} T_3 = 325K \end{array}\right\} \Rightarrow \Delta T = 69K$$

$$\Delta T_1 = \Delta T \frac{\frac{1}{U_1}}{\frac{1}{U_1}+\frac{1}{U_2}+\frac{1}{U_3}} = 13K,\ \Delta T_2 = 20K,\ \Delta T_3 = 36K$$

$$\Delta T_1 = 18K,\ \Delta T_2 = 17K,\ \Delta T_3 = 34K \Rightarrow T_1 = 376K,\ T_2 = 359K$$

$$\lambda_0 = 2200\frac{kJ}{kg},\ \lambda_1 = 2249\frac{kJ}{kg},\ \lambda_2 = 2293\frac{kJ}{kg},\ \lambda_3 = 2377\frac{kJ}{kg}$$

$$q_1 = 2200V_0 = 4*4.18(376-294) + 2249V_1$$
$$q_2 = 2249V_1 = (4-V_1)4.18(359-376) + 2293V_2$$
$$q_3 = 2293V_2 = (4-V_1-V_2)4.18(325-359) + 2377V_3$$
$$4*0.1 = (4-V_1-V_2-V_3)*0.5$$

$$V_0 = 1.635\frac{kg}{s}; V_1 = 1.991\frac{kg}{s}; V_2 = 1.065\frac{kg}{s}; V_3 = 1.144\frac{kg}{s}$$

$$A_1 = \frac{V_0\lambda_0}{U_1\Delta T_1} = 64.5m^2; A_2 = \frac{V_1\lambda_1}{U_2\Delta T_2} = 65.6m^2; A_3 = \frac{V_2\lambda_2}{U_3\Delta T_3} = 65.3m^2$$

$$A = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{3} = 65.13m^2$$

$$Economy = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{V_0} = 2$$