

فصل پنجم

طراحی کندانسورها

مدرس: نفیسه ینش

کلیات

- کندانسورها یک نوع مبدل حرارتی هستند که سیال گرم یک بخار اشباع در نظر گرفته شده و در اثر از دست دادن گرما به مایع تبدیل می شود. به این مایع، مایع کندانس گفته می شود.
- در کندانسور معمولاً بخار (سیال گرم) از سمت پوسته عبور می کند.
- در کندانسورها معمولاً بافل تعبیه نمی شود.
- می توان از افت فشار سمت پوسته صرف نظر کرد.
- تنها دمای معلوم، دمای سیال سرد ورودی می باشد.

اهداف طراحی

- تعیین ابعاد لوله ها و پوسته
- تعیین آرایش لوله ها
- محاسبه تعداد لوله های مورد نیاز
- محاسبه تعداد گذرهای مورد نیاز
- محاسبه افت فشارهای مجاز

الگوریتم حل

۱- فرضیات لازم برای مشخصات لوله

- BWG
- OD
- آرایش لوله ها و گام (pitch)
- دمای خروجی سیال سرد (۵ و نهایتاً درجه بیشتر از دمای ورودی)
- L فرض نمی شود.

الگوریتم حل

۲- محاسبه Heat duty

$$Q = mh_{fg}$$

- h_{fg} با دما و فشار وابسته است. بنابراین برای تعیین آن به این صورت عمل می کنیم:
- ✓ دمای خروج مایع سرد را حدس می زنیم.
- ✓ متوسط دمای ورود و خروج را تعیین کرده، ۱۰ واحد به آن اضافه می کنیم و عدد حاصل را به عنوان دمای مایع کندانس در نظر می گیریم.
- ✓ از جداول بخار اشباع، نزدیک ترین دما به دمای در نظر گرفته شده برای مایع کندانس را پیدا کرده و در آن دما، فشار بخار اشباع و h_{fg} را می خوانیم.

الگوریتم حل

۳- محاسبه دبی سیال سرد از رابطه $Q=mC_p\Delta t$

۴- تخمین تعداد لوله ها (N) : برای این منظور یک سرعت (3-6 ft/s) برای سیال سرد داخل لوله در نظر می گیریم.

$$m = \rho \cdot u \cdot N \cdot \frac{\pi \cdot ID^2}{4}$$

• ID از جدول ۳-۱۰

۵- یک مقدار برای U حدس زده و از رابطه $q=U.A.LMTD$ ، A_{req} (سطح مورد نیاز) را به دست می آوریم.

۶- محاسبه کل طول مورد نیاز (N.L) از رابطه $A_{req}=N.\pi OD.L$ که πOD را از جدول ۳-۱۰ می خوانیم.

الگوریتم حل

۷- محاسبه تعداد گذرها

- فرض تعداد گذر
- خواندن N_t از جدول ۹-۱۰ که باید از N بدست آمده از مرحله ۴ بیشتر باشد.
- محاسبه سرعت u از رابطه دبی

$$m = \rho u \frac{N_t}{pass\ No.} \frac{\pi \cdot ID^2}{4}$$

- محاسبه طول از رابطه $L=(N.L)/N_t$
- مقایسه سرعت با مقادیر استاندارد (3-6 ft/s)
- مقایسه طول با مقادیر استاندارد (10-20 ft)
- در صورت مغایرت مقدار سرعت و طول با مقادیر استاندارد تعداد لوله ها در هر گذر و تعداد گذرهای لوله را آنقدر تغییر می دهیم تا در محدوده مجاز قرار گیرند.

خروجی ها: تعداد گذر لوله ها، تعداد کل لوله ها، سرعت سیال داخل لوله، طول لوله ها، قطر داخلی پوسته ID_{shell}

الگوریتم حل

۸- محاسبه h_{io} به صورت زیر:

- با داشتن سرعت سیال داخل لوله u ، و دمای متوسط سیال داخل لوله t_f از نمودار 10-50A، مقدار h_i را می خوانیم.
- با توجه به اینکه این نمودار برای $OD = \frac{3}{4}$ in است، اگر قطر خارجی لوله ها مقدار دیگری باید مقدار خوانده شده در ضریب تصحیح ضرب شود.
- در نهایت با استفاده از رابطه زیر مقدار h_{io} حاصل خواهد شد.

$$h_{io} = h_i \cdot F_w \frac{ID}{OD}$$

الگوریتم حل

۹- محاسبه ضریب جابجایی سیال سمت پوسته h_0 از Fig. 10-67A

$$G_0'' = \frac{W}{L \cdot N_t^{2/3}}$$

W : دبی سیال کندانس lb/hr

L : طول خالص لوله بر حسب ft (طول محاسبه شده منهای 2×3 اینچ)

N_t : تعداد لوله ها

- از G_0'' (محور افقی) به k_a ، سپس به Sp. Gr، سپس به ویسکوزیته، سپس به خط مبنا و سپس به محور افقی بالا وصل می کنیم و h_0 را می خوانیم.

$$U_o = \frac{1}{\frac{1}{h_{io}} + r_i + r_o + \frac{1}{h_o}}$$

۱۰- محاسبه U

الگوریتم حل

۱۱- محاسبه $A_{required}$ مورد نیاز از رابطه $q=U.A.LMTD$

۱۲- محاسبه $A_{available}$ در دسترس از رابطه $A_{available}=\pi OD.N_t.L$

۱۳- بررسی مناسب بودن A به نحوی که $A_{available}=1.1-1.2 A_{required}$

در صورتیکه شرط فوق ارضا نشد باید به دنبال یک تغییر در محاسبات باشیم به نحوی که یا $A_{available}$ افزایش یابد یا $A_{required}$ کاهش یابد.

الگوریتم حل

۱۴- محاسبه افت فشار: همانطور که گفته شد از افت فشار سمت پوسته صرفنظر می کنیم. برای افت فشار سمت لوله به صورت زیر عمل می کنیم.

۱- افت فشار ناشی از تغییر جهت جریان در انتهای لوله ها: با داشتن سرعت جریان در داخل لوله ها و دانسیته ویژه سیال داخل لوله با استفاده از نمودار 10-139، Δp_r به ازای هر گذر لوله حاصل می شود که با ضرب آن در تعداد گذرها Δp_r بر حسب psi بدست می آید.

۲- افت فشار جریان اصلی داخل لوله ها: از نمودار 10-138 با توجه به محور افقی $\frac{\text{تعداد لوله ها}}{\text{تعداد گذر}}$ و خطوط داخل نمودار که راهنمای آن در کنار نمودار مشاهده می شود، از

محور عمودی افت فشار به ازای ۱۰۰ فوت از طول لوله به ازای هر گذر خوانده می شود که عدد خوانده شده را باید در طول لوله ها و در تعداد گذرها ضرب کرد تا نهایتاً Δp محاسبه خواهد شد.

$$\Delta p_{\text{tube}} = \Delta p_r + \Delta p$$

برای اطمینان کمی بیشتر از مقدار فوق را به عنوان افت فشار مجاز سمت لوله در نظر می گیریم.

Example

Ammonia vapors from a stripping operation are to be condensed. Select the condenser pressure and design a condenser. Water at 90°F is to be used.

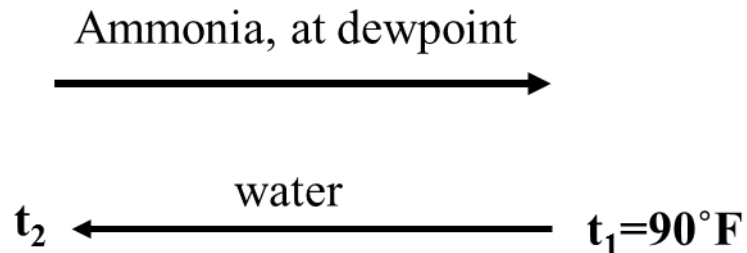
Flow: 1,440 lb/hr ammonia, at dewpoint.

k_a , 0.29 Btu/hr.ft.°F

μ , 0.085 cp

sp.gr, 0.598

$C_{p,\text{water}}$, 1 Btu/lb.°F



الگوریتم حل

۱- فرضیات لازم برای مشخصات لوله

OD= 1 in

BWG : 12

Arrangement: Δ , $p= 1 \frac{1}{4}$ in

۲- محاسبه Heat duty

Assume: $t_2=100^\circ\text{F} \rightarrow t_f = 95^\circ\text{F} \rightarrow T_{\text{NH}_3}= 105^\circ\text{F}$

طبق جدول بخار اشباع آمونیاک نزدیک ترین دما به دمای فوق 106.6°F است که در این دما فشار بخار اشباع 220 psig و گرمای نهان تبخیر $h_{fg}=470.5 \text{ Btu/lb}$ است.

$$Q= mh_{fg}= 1440* 470.5=680000 \text{ Btu/hr}$$

الگوریتم حل

۳- محاسبه دبی سیال سرد

$$Q = mC_p \Delta t \rightarrow 680000 = m \cdot 1 \cdot 10 \rightarrow m = 68000 \text{ lb/hr}$$

۴- تخمین تعداد لوله ها (N) : فرض کنیم $u = 5 \text{ ft/s}$

از جدول ۳-۱۰ : $ID = 0.782 \text{ in}$

$$m = \rho \cdot u \cdot N \cdot \frac{\pi \cdot ID^2}{4}$$

$$\frac{68000}{3600} = 62.4 \cdot 5 \cdot N \cdot \frac{\pi \cdot \left(\frac{0.782}{12}\right)^2}{4}$$

$$N = 18$$

الگوریتم حل

۵- یک مقدار برای U حدس زده و از رابطه $q=U.A.LMTD$ ، A_{req} را به دست می آوریم.

$$\text{Assume: } U=200, \quad LMTD = \frac{6.6-16.6}{\ln \frac{6.6}{16.6}} = 11, \quad q=680000$$

$$A_{req} = 309 \text{ ft}^2$$

۶- محاسبه کل طول مورد نیاز ($N.L$) از رابطه $A_{req}=N.\pi OD.L$

$$\pi OD = 0.2618 \text{ (Table 10-3)}$$

$$N.L = 309 / 0.2618 = 1180 \text{ ft}$$

الگوریتم حل

۷- محاسبه تعداد گذرها

Assume 1: 1 pass tube $\rightarrow N_t = 33$ (Table 10-9)

$$m = \rho u \frac{N_t}{\text{pass No.}} \frac{\pi ID^2}{4}$$
$$\frac{68000}{3600} = 62.4 * u * 33 \frac{\pi \cdot (\frac{0.782}{12})^2}{4}$$

$$u = 2.78 \text{ ft/s} < u_{\text{standard}}$$

اگر در همین فرض یک گذر تعداد لوله ها را بیشتر کنیم سرعت کمتر خواهد شد و در محدوده استاندارد نخواهد بود.

الگوریتم حل

۷- محاسبه تعداد گذرها

Assume 2: 2 pass tube $\rightarrow N_t = 32$

$$\frac{68000}{3600} = 62.4 * u * \frac{32 \pi \cdot \left(\frac{0.782}{12}\right)^2}{4}$$

$$u = 5.7 \text{ ft/s} , L = (N.L)/N_t = 1180/32 = 36.8$$

اگر در همین فرض دو گذر تعداد لوله ها را بیشتر کنیم طول و سرعت هردو کمتر خواهند شد که باید چک کنیم که آیا در محدوده استاندارد هستند یا خیر!

$$N_t = 52$$

$$\frac{68000}{3600} = 62.4 * u * \frac{52 \pi \cdot \left(\frac{0.782}{12}\right)^2}{4} \rightarrow u = 3.52 \text{ ft/s}$$

الگوریتم حل

۷- محاسبه تعداد گذرها

Assume 3: 4 pass tube $\rightarrow N_t = 24$

$$\frac{68000}{3600} = 62.4 * u * \frac{24 \pi \cdot (\frac{0.782}{12})^2}{4}$$

$$u = 15 \text{ ft/s}$$

اگر در همین فرض چهار گذر تعداد لوله ها را بیشتر کنیم سرعت کمتر خواهد شد که باید چک کنیم که آیا در محدوده استاندارد هستند یا خیر!

$$N_t = 44$$

$$\frac{68000}{3600} = 62.4 * u * \frac{44 \pi \cdot (\frac{0.782}{12})^2}{4} \rightarrow u = 8.3 \text{ ft/s}$$

الگوریتم حل

۷- محاسبه تعداد گذرها

اگر در همین فرض چهار گذر تعداد لوله ها را بیشتر کنیم سرعت کمتر خواهد شد که باید چک کنیم که آیا در محدوده استاندارد هستند یا خیر!

$$N_t = 60$$

$$\frac{68000}{3600} = 62.4 * u * \frac{60}{4} \frac{\pi \cdot (\frac{0.782}{12})^2}{4} \rightarrow u=6 \text{ ft/s} , L=1180/60= 19.6 \text{ ft}$$

$$N_t = 60 , \text{ Pass : } 4$$

$$u = 6 \text{ ft/s}$$

$$L=19.6 \text{ ft}$$

$$ID_{\text{shell}} = 13.25 \text{ in}$$

الگوریتم حل

۸- محاسبه h_{io}

$$u = 6 \text{ ft/s}, t_f = 95^\circ\text{F} \rightarrow \text{from Fig. 10-50A} \rightarrow h_i = 1350 \text{ Btu/hr.ft}^2.\text{°F}$$

$$F_w = 0.96$$

$$h_{io} = h_i \cdot F_w \frac{ID}{OD} = 1350 * 0.96 * \frac{0.782}{1} = 1013 \text{ Btu/hr.ft}^2.\text{°F}$$

۹- محاسبه ضریب جابجایی سیال سمت پوسته h_o

$$G''_0 = \frac{W}{L.N_t^{2/3}} = \frac{1440}{(19.6 - \frac{6}{12})60^{2/3}} = 4.9$$

$$h_o = 2500 \text{ (Fig. 10-67A)}$$

الگوریتم حل

۱۰- محاسبه U

$$U_o = \frac{1}{\frac{1}{h_{io}} + r_i + r_o + \frac{1}{h_o}} = \frac{1}{\frac{1}{1013} + 0.001 + 0.002 + \frac{1}{2500}} = 228 \frac{Btu}{hr.ft^2.^{\circ}F}$$

الگوریتم حل

۱۱- محاسبه $A_{required}$ مورد نیاز از رابطه $q=U.A.LMTD$

$$A_{req.} = \frac{680000}{228 * 11} = 271 ft^2$$

۱۲- محاسبه $A_{available}$

$$A_{available} = N_t . \pi OD . L = 60 \times 0.2618 \times \left(19.6 - \frac{6}{12} \right) = 300 ft^2$$

الگوریتم حل

۱۳- بررسی مناسب بودن A به نحویکه $A_{available}=1.1-1.2 A_{required}$

$$\frac{A_{available}}{A_{req.}} = \frac{300}{271} = 1.107$$

در صورتیکه شرط فوق برقرار نبود می توانستیم با افزایش ID_{shell} سطح در دسترس را افزایش دهیم.

الگوریتم حل

۱۴- محاسبه افت فشار:

$$u = 6 \text{ ft/s} , \text{ sp. Gr} = 1 \rightarrow \Delta P_r = 0.65 \text{ psi/pass (Fig. 10-139)}$$

$$\Delta P_r = 0.65 * 4 = 2.6 \text{ psi}$$

$$\frac{\text{دبی جرمی}}{\frac{\text{تعداد لوله ها}}{\text{تعداد گذر}}} = \frac{68000}{60/4} = 4500 , \text{ key : 11} \rightarrow \rightarrow \rightarrow \text{Fig. 10-138}$$

$$\Delta P = 9 \text{ psi/100 ft} * 19.6 * 4 = 7.06 \text{ psi}$$

$$\Delta P_{\text{tube}} = 2.6 + 7.06 = 9.66 \sim 10 \text{ psi}$$

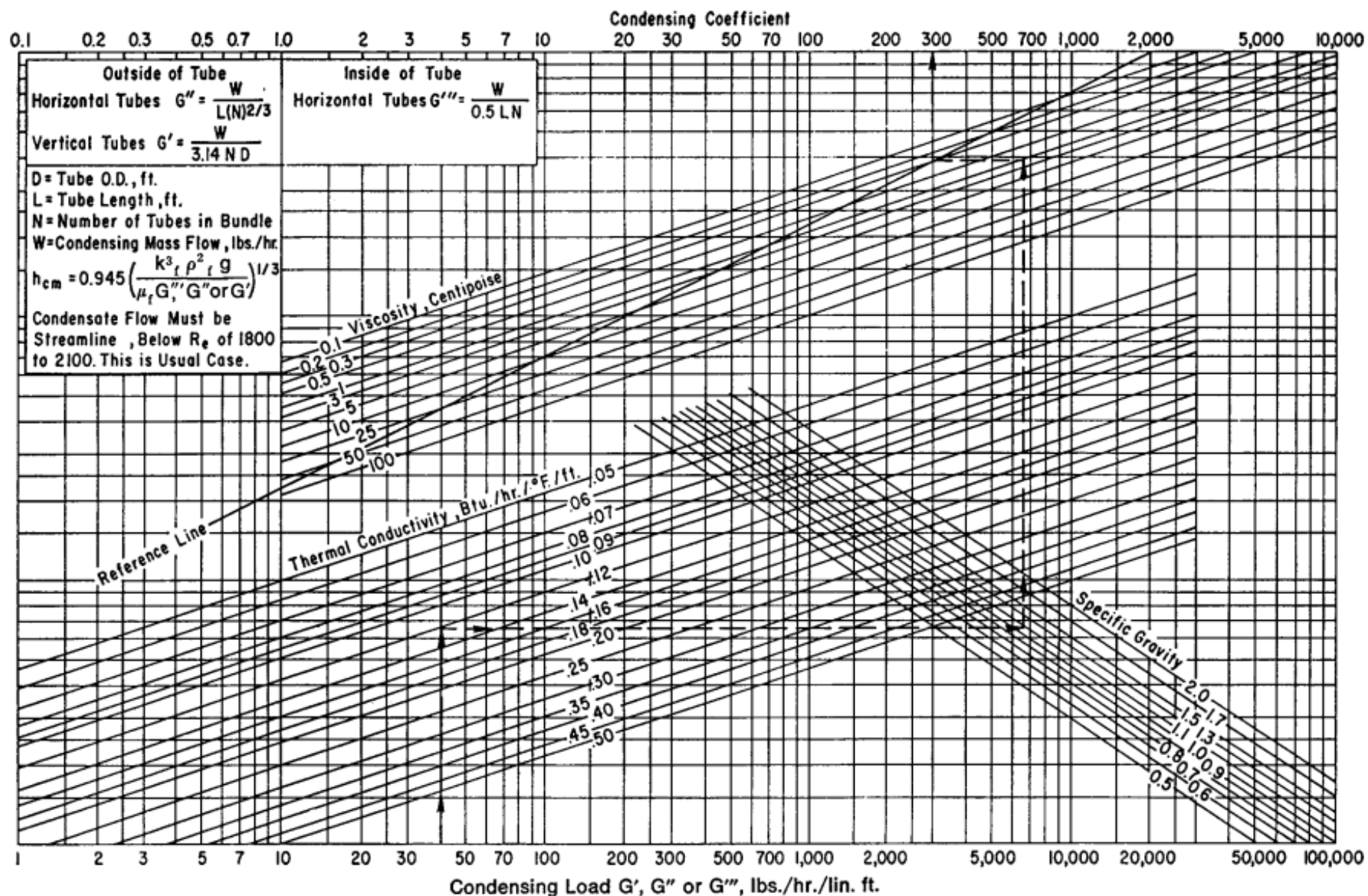


Figure 10-67A. Condensing film coefficients outside horizontal or vertical tubes. (Used by permission: Kern, D.Q. *Process Heat Transfer*, 1st Ed., ©1950. McGraw-Hill, rights reserved.)