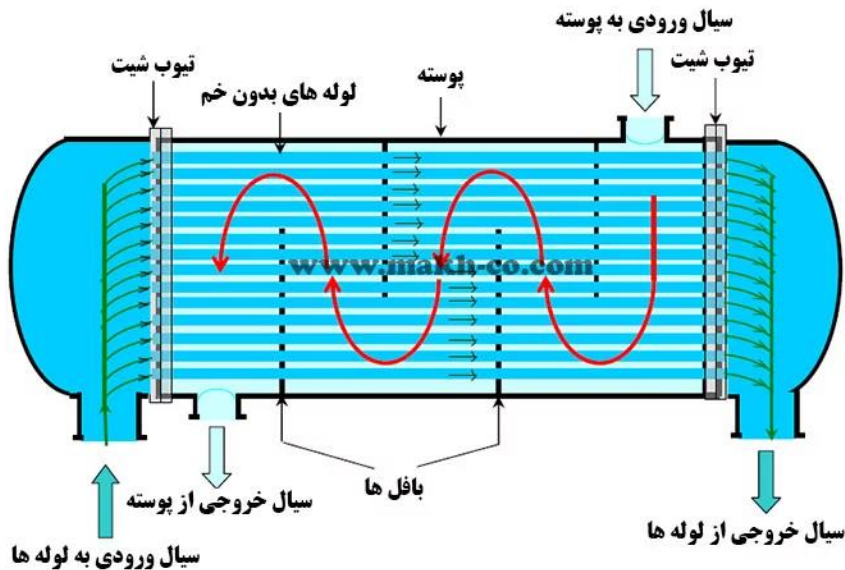


فصل چهارم

طراحی مبدل های پوسته و لوله

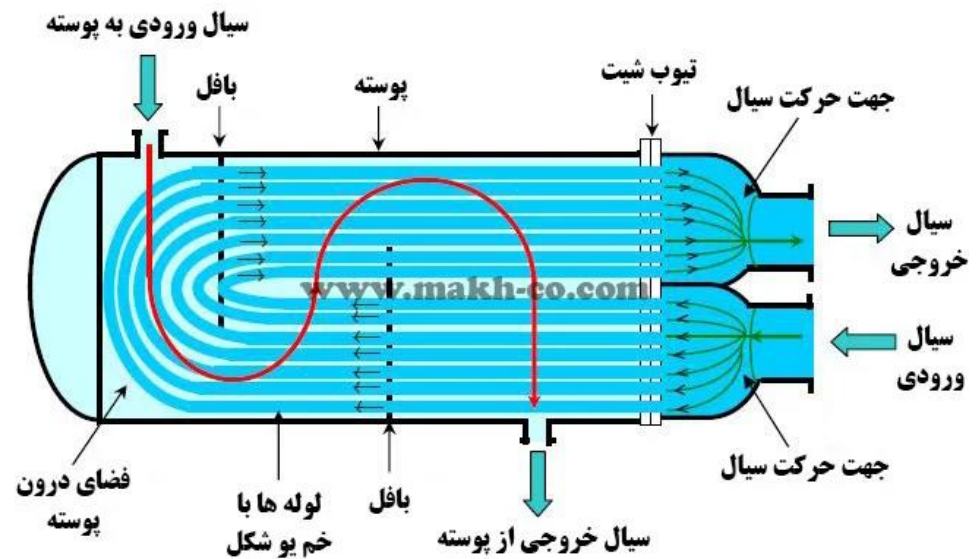
مدرس: نفیسه ینش

اجزاء و ساختمان مبدل پوسته و لوله



Fixed Tube

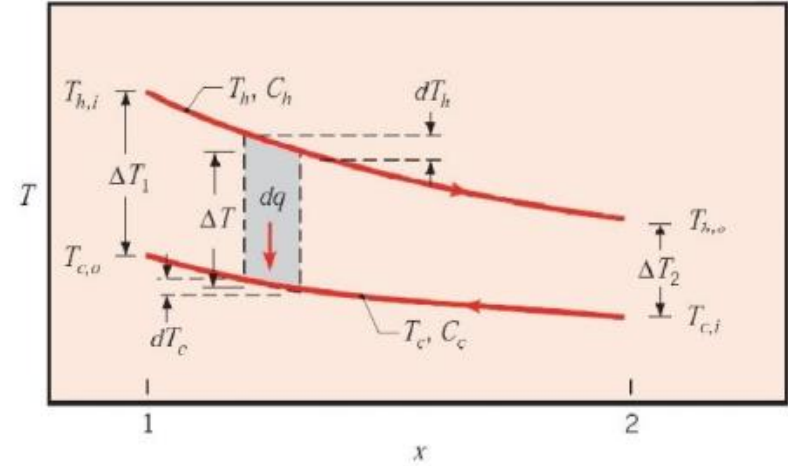
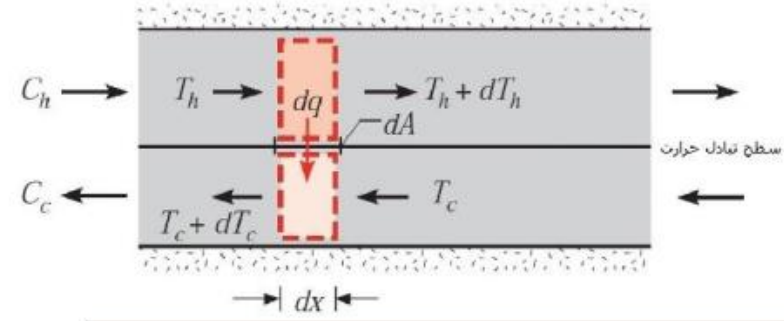
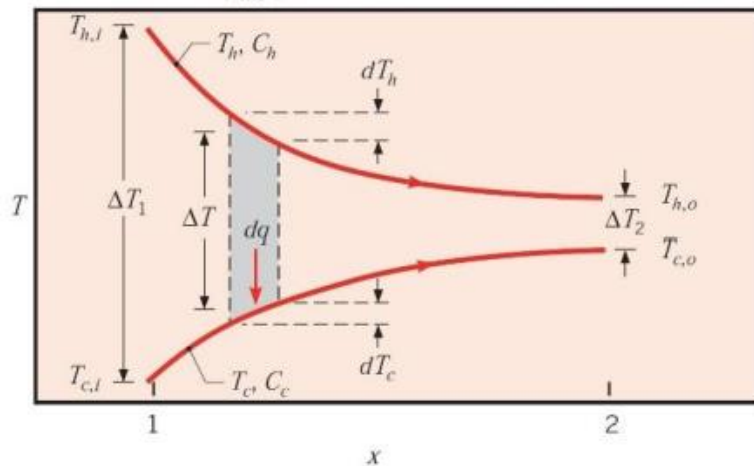
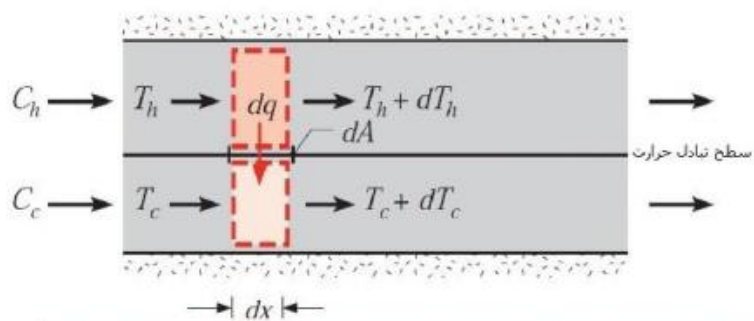
تغییر دمای داخل لوله زیاد نباشد



U-Tube

تغییر دمای داخل لوله بیشتر از ۵۰ باشد که باید فضای کافی برای انبساط باشد

توزيع دما



$$q = m C_p \Delta T$$

$$q = U \cdot A \cdot LMTD$$

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

توزیع دما

اگر مبدل دارای دو گذر لوله یا بیشتر باشد، ترکیبی از دو نوع جریان همسو و ناهمسو را خواهیم داشت که در این صورت LMTD را به صورت زیر (جریان ناهمسو) محاسبه کرده و سپس در یک ضریب تصحیح ضرب می کنیم. ضریب تصحیح از نمودار 10-34A بدست می آید.

$$LMTD = \frac{\Delta T_h - \Delta T_c}{\ln \frac{\Delta T_h}{\Delta T_c}}$$

ΔT_h : اختلاف دمای ترمینال گرم

ΔT_c : اختلاف دمای ترمینال سرد

$$q = U_i \cdot A_i \cdot LMTD$$

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_{di}} + \frac{A_i \ln(\frac{r_o}{r_i})}{2\pi k_w l} + \frac{A_i}{h_{do} A_o} + \frac{A_i}{h_o A_o}}$$

یا

$$q = U_o \cdot A_o \cdot LMTD$$

$$U_o = \frac{1}{\frac{A_o}{h_i A_i} + \frac{A_o}{h_{di} A_i} + \frac{A_o \ln(\frac{r_o}{r_i})}{2\pi k_w l} + \frac{1}{h_{do}} + \frac{1}{h_o}}$$

در محاسبات کتاب Ludwig به صورت زیر محاسبات ضریب کلی انتقال حرارت انجام می شود:

$$q = U_o \cdot A_o \cdot LMTD$$

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

که r_o و r_i مقاومت رسوب می باشد.

اهداف طراحی

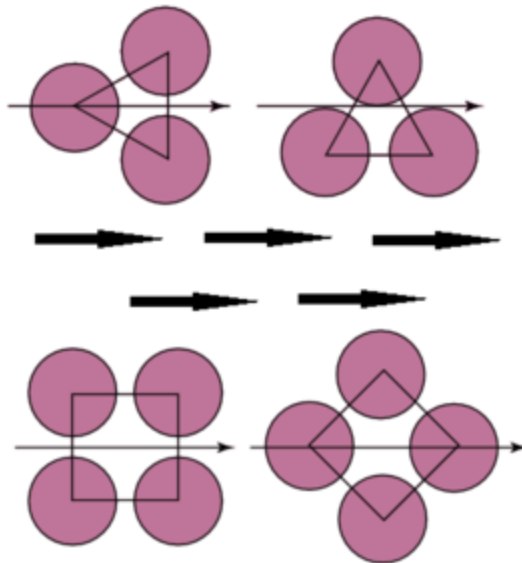
- تعیین ابعاد لوله ها و پوسته
- تعیین آرایش لوله ها
- محاسبه تعداد لوله های مورد نیاز
- محاسبه تعداد گذرهای مورد نیاز
- محاسبه افت فشارهای مجاز

فرضیات و نکات طراحی

- سیال سرد در داخل لوله و سیال گرم در داخل پوسته جریان دارد.
- BWG رایج: ۱۴ و ۱۶
- OD رایج: $1\frac{3}{4}$ ، ۱ و $1\frac{1}{4}$ اینچ
- L رایج: ۳ تا ۹ فوت
- معمولاً اختلاف دمای ورودی و خروجی سیال سرد ۵ و نهایتاً ۱۰ واحد در نظر گرفته می شود.
- زمانیکه سیال داخل لوله اختلاف دمای زیادی نداشته باشد از Fixed tube و زمانیکه اختلاف دما بیشتر از ۵۰ درجه باشد از U-tube استفاده می کنیم.

الگوریتم حل

الف) محاسبات سمت لوله (سیال سرد)



۱- فرضیات لازم برای مشخصات لوله

- BWG : ۱۴ و ۱۶
- OD : $1\frac{3}{4}$ ، $1\frac{1}{4}$ اینچ
- L : ۳ تا ۹ فوت
- آرایش لوله ها و گام (pitch)
- دمای خروجی سیال سرد (۵ و نهایتاً درجه بیشتر از دمای ورودی)

۲- محاسبه Heat duty

$$q = mC_p\Delta T$$

الگوریتم حل

۳- فرض ضریب کلی انتقال حرارت U_0 و محاسبه A_0 از رابطه زیر:

$$q = U_o \cdot A_o \cdot LMTD$$

۴- محاسبه تعداد لوله ها (N):

$$A_o = N \cdot \pi OD \cdot L \quad \longrightarrow \quad N = \frac{A_o}{\pi OD \cdot L}$$

• πOD از جدول ۳-۱۰

• L طول خالص است و باید طول فرض شده در مرحله ۱ را منهای مقادیر اضافی کنیم:

✓ فشار پایین: $1\frac{1}{2}$ اینچ $\times 2$ (برای دو طرف)

✓ فشار بالا: ۳ تا ۴ اینچ $\times 2$ (برای دو طرف)

الگوریتم حل

۵- محاسبه تعداد گذرها و در نهایت سرعت سیال داخل لوله:

- فرض تعداد گذر
- خواندن N_t از جدول که باید از N بدست آمده از مرحله قبل بیشتر باشد.
- محاسبه دبی سیال داخل لوله از رابطه زیر:

$$q = mC_p\Delta t$$

- محاسبه سرعت u از رابطه دبی

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

که ID از جدول ۳-۱۰ بدست می آید.

- مقایسه سرعت با مقادیر استاندارد (1-2m/s یا 3-6 ft/s) و در صورت نیاز حدس بعدی برای تعداد گذر
- در این مرحله اگر تعداد گذر بیش از یک بود باید تصحیح LMTD را هم انجام دهیم.

خروجی این مرحله: تعداد گذر لوله ها، تعداد کل لوله ها N_t ، سرعت سیال داخل لوله، LMTD اصلاح شده

الگوریتم حل

۶- محاسبه h_{i0} 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 $OD = \frac{3}{4} \text{ in}$ 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_{i0} حاصل خواهد شد.

$$h_{i0} = h_i \cdot F_w \frac{ID}{OD}$$

الگوریتم حل

(ب) محاسبات سمت پوسته (سیال گرم)

۷- محاسبه سطح مقطع جریان a_s

وجود لوله ها و بافل ها در داخل پوسته روی سطح مقطع جریان تأثیر گذار است که می توان از رابطه زیر آن را محاسبه کرد.

$$a_s = \frac{ID_{shell} \cdot C' \cdot B}{P.144} (ft^2)$$

- ID_{shell} : قطر داخلی پوسته از جدول 9-10 (بر حسب in)
- C' : فاصله آزاد بین لوله ها از نمودار 54-10 (بر حسب in)
- B : فاصله بین بافل ها که $ID_{shell} > B > \frac{1}{5} ID_{shell}$
- P : گام لوله ها (بر حسب in)

الگوریتم حل

۸- محاسبه سرعت جرمی سیال داخل پوسته G_s

$$G_s = \frac{W}{a_s}$$

W : دبی جرمی سیال داخل پوسته

۹- محاسبه عدد رینولدز سمت پوسته

$$Re = \frac{D_e \cdot G_s}{\mu}$$

D_e : قطر هیدرودینامیکی پوسته از نمودار 10-54 (بر حسب ft)

μ : ویسکوزیته سیال داخل پوسته بر حسب lb/ft.hr

الگوریتم حل

۱۰- محاسبه ضریب جابجایی سیال سمت پوسته h_0

$$J_H = \frac{h_o \cdot D_e}{k_a} \left(\frac{C_p \cdot \mu}{k_a} \right)^{-\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-0.14}$$

h_o : ضریب جابجایی سیال بر حسب $\text{Btu/hr.ft}^2.\text{°F}$

D_e : قطر هیدرودینامیکی پوسته بر حسب ft

k_a : ضریب هدایت سیال بر حسب Btu/hr.ft.°F

C_p : قطر هیدرودینامیکی پوسته بر حسب ft

μ : ویسکوزیته سیال داخل پوسته در دمای متوسط بر حسب lb/ft.hr

μ_w : ویسکوزیته سیال داخل پوسته در دمای دیواره لوله بر حسب lb/ft.hr

الگوریتم حل

۱۱- مراحل ۷ و ۸ و ۹ و ۱۰ را که دفعه اول با $B=ID_{shell}$ حل کردیم ، مجدداً با $B=1/5 ID_{shell}$ تکرار می کنیم و یک h_0 دیگر بدست می آوریم.

۱۲- محاسبه U به ازای هر دو h_0

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

✓ برای اینکه بدانیم کدام U بهتر است باید بینیم کدامیک A بهتری ایجاد می کند (حتی ممکن است هیچ کدام مناسب نباشد).

الگوریتم حل

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

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

۱۵- 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

✓ اگر طول فرضی در مرحله اول را افزایش دهیم $A_{available}$ افزایش می یابد؛ از مرحله ۴ به بعد باید محاسبات مجدداً چک و در صورت نیاز تغییر کند.

✓ ID_{shell} را افزایش دهیم که در این صورت نیاز است محاسبات از مرحله ۵ به بعد تغییر کند. اما توجه داشته باشید که افزایش ID_{shell} هم دارای اثر منفی و هم اثر مثبت است، اما در هر حال می تواند به عنوان یکی از گزینه های انتخابی باشد.

اثر مثبت $ID_{shell} \uparrow : N_t \uparrow : A_{available} \uparrow$

اثر منفی $ID_{shell} \uparrow : B \uparrow : a_s \uparrow : G_s \downarrow : Re \downarrow : J_H \downarrow : h_o \downarrow : U \downarrow : A_{required} \uparrow$

الگوریتم حل

✓ t_2 فرضی در مرحله اول را کاهش دهیم که در این صورت نیاز است محاسبات از مرحله ۵ به بعد تغییر کند. اما توجه داشته باشید که کاهش t_2 هم دارای اثر منفی و هم اثر مثبت است، اما در هر حال می تواند به عنوان یکی از گزینه های انتخابی باشد.

اثر مثبت $t_2 \downarrow : LMTD \uparrow : A_{required} \downarrow$

اثر منفی $t_2 \downarrow : \Delta t_{(مرحله ۵)} \downarrow : m \uparrow : u \uparrow , t_f \downarrow : h_{io} \downarrow : U \downarrow : A_{required} \uparrow$

نتیجه نهایی: بهترین راه حل افزایش ID_{shell} و بطور همزمان کاهش t_2 است.

الگوریتم حل

۱۶- محاسبه افت فشار مجاز

الف) سمت پوسته

$$\Delta P_{shell} = \frac{f_s \cdot G_s^2 \cdot D_s \cdot (N_c + 1)}{5.22 \cdot 10^{10} \cdot D_e \cdot S \cdot \phi} \quad (psi)$$

f_s : ضریب اصطکاک از نمودار 10-140

N_c : از تقسیم خالص L بر B حاصل می شود.

S : چگالی ویژه سیال پوسته (sp.Gr)

ϕ : μ/μ_w که معمولاً ۱ در نظر گرفته می شود.

برای اطمینان ۱ تا ۱/۵ برابر مقدار فوق را به عنوان افت فشار مجاز سمت پوسته در نظر می گیریم.

الگوریتم حل

(ب) سمت لوله: شامل دو ترم است

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 $\frac{\text{دبی جرمی}}{\text{تعداد لوله ها}}$ 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

The liquid bottoms from a distillation column must be cooled from 176°F to 105°F. The cooling water is untreated at 90°F.

Operating data: Bottom flow, 6350 lb/hr

Average C_p , 0.333 Btu/lb.°F

Average k_a , 0.055 Btu/hr.ft.°F

Average μ , 0.404 cp

Average sp.gr, 0.78

