اولین
دپارتمان تخصصی و جامع مهندسی شیمی
تخصصی ترین مرکز دوره های آمادگی
کنکور کارشناسی ارشد و دکتری مهندسی شیمی
"به خانه مهندسی شیمی خوش آمدید"
((مؤسسه آموزش عالی آزاد نگاره))

جلسه ی اول ... ۸۷/۱۱/۲۰ :

Free convection → chapter 7

phase change → chapter 9

Heat Exchanger → chapter 10

Heat Exchanger Design : Double (multiple) pipe H.E
Shall + Tube H.E
Plate + Frame H.E
Agitated vessels

Radiation Heat Transfer → chapter 8

کوره ها ← برای امتحان نیست ولی برای اطلاعات عمومی است.

فصل هفتم:

Free Convection :

convection : هرگاه بین سطح و سیال اختلاف دما وجود داشته باشد انتقال حرارت از طریق convection است.

convection | Forced convection
Free "
phase change

$Q = h A \Delta T$: معادله نیوتن

در معادله ی نیوتن آنچه همه جا برای ما مورد سؤال است h است.

$h = f(?)$

Subject:

Year..... Month..... Date..... ( )

h به نوع سیال بستگی دارد. به هندسه و نوع مرزگیری جسم بستگی دارد اما در Free convection به سرعت جسم بستگی ندارد.

$h = f(?)$ — Theorical → ch.5 — Experimental → ch.6

فصل 7 هم تئوری و هم تجربی است.

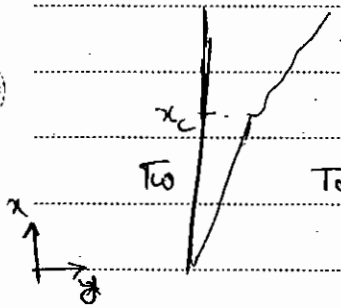
چه از راه تئوری و چه از راه تجربی ابتدا باید هندسه‌ی مسأله را بدانیم.

- صفحه: عمودی (مایل / افقی)
- استوانه: عمودی (مایل / افقی)
- کره

در کتاب در قسمت تئوری فقط صفحه‌ی عمودی را مطرح کرده است و بقیه‌ی موارد را از طریق روابط تجربی بررسی کرده است.

* Free Convection For Vertical plane wall – Laminar Region:

Laminar Region: پدیده‌های انتقال از طریق برخوردهای مولکولی است.



صفحه دمای T_w، سیال دمای T_∞ است.

فرض: $T_w > T_\infty$

مسأله دوبعدی و در جهت x و y است (اثر لبه‌ها)

صفحه را خیلی نازک می‌گیریم.

سرعت سیال صفر است. ⇐ هوای ساکن سرد در کنار صفحه‌ی داغ انتقال حرارت خواهد داشت.

الان یک لایه‌ی مرزی داریم که تا فاصله‌ی x_c آرام است. همان طور که در جهت x

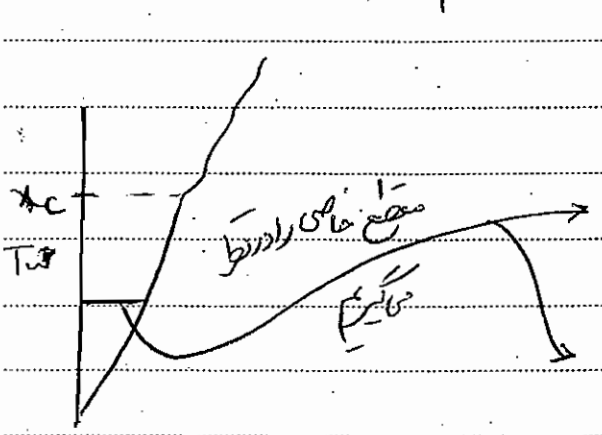
Subject:

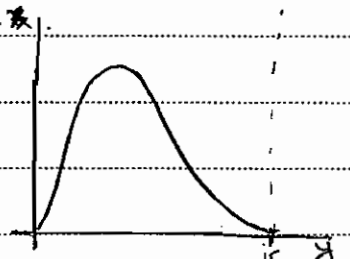
Year..... Month..... Date.....( )

بالا می رویم ضخامت لایه زیادی می‌شود و از x_c به بعد رادی ها هم به وجود می‌آیند.

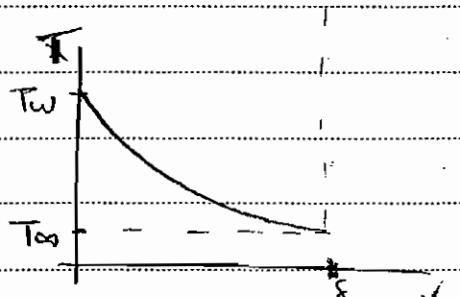
در درس انتقال حرارت ما فقط لایه‌ی مرزی حرارت داریم. ← تفاوت فصل 5 و فصل 7 چیست؟

* سوال چرا به سمت بالا صعودی می‌کند؟ به خاطر وجود اختلاف دما ← عامل انتقال مومنتم اختلاف دماست. از طرفی عامل انتقال حرارت هم اختلاف دماست ← نیروی محرکه‌ی هردو پدیده اختلاف دماست ← لایه‌ی مرزی حرارت و مومنتم هر دو منطبق می‌باشند.





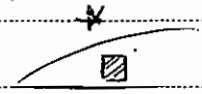
نمودار توزیع سرعت

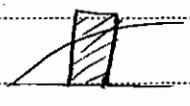


نمودار توزیع دما ← در مقاطع مختلف نقطه میزان δ (ضخامت لایه) عوض می‌شود.

* * *

Theorical Solutions { Differential / Integral





در فصل 5 سعی بر این است تا در به حل معادلات دیفرانسیلی می‌باشیم.

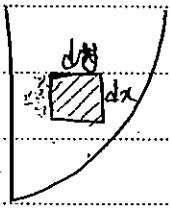
Subject:

Year..... Month..... Date..... ( )

* روش دیفرانسیلی:

معادله‌ی جرم: هیچ تفاوتی با فصل 5 ندارد.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$



معادله‌ی مومنتم:

از تغییرات فشار در جهت جریان صرف نظر می‌کنیم. (۳ تا جمله)

۲ تا جمله‌ی ورودی و خروجی

۲ تا جمله‌ی تنش برشی (از تنش افقی صرف نظر می‌کنیم)

تا این جا مثل فصل 5 بود.

در فصل 7 نیروی mg را اضافه می‌کنیم. چون قابل اغماض نیست.

$$\rho\left(u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y}\right) = g\beta\rho(T - T_\infty) + \mu\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$$

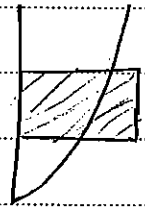
β: ضریب انبساط گرمایی حجمی

معادله‌ی انرژی: هیچ تفاوتی با فصل 5 ندارد.

$$\rho c_p\left(u\frac{\partial T}{\partial x} + v\frac{\partial T}{\partial y}\right) = k\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}$$

۳ معادله و ۳ مجهول داریم. $u(x,y)$ ، $T(x,y)$ ، $v(x,y)$ برحل آن نسبتاً ساده است.

* روش انتگرالی:



روی بدنه فصل 5 انجام می‌دهیم:

$$\frac{d}{dx}\int_0^\delta \rho u^2 dy = -\mu\left.\frac{\partial u}{\partial y}\right|_{y=0} + \int_0^\delta \rho g\beta(T - T_\infty)dy$$

Heat Balance Integral

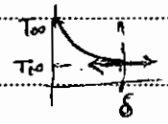
Subjeet:

Year..... Month..... Date.....( )

۲ تا از مجهول ها را برابر عدد فرض می‌کنیم.

Assume: $T = A + By + Cy^2 + Dy^3$ درجه دوم یا اندازه کافی دقیق است :

$$\begin{cases} y=0 \rightarrow T=T_w \\ y=\delta \rightarrow T=T_\infty \\ y=\delta \rightarrow \dfrac{\partial T}{\partial y}=0 \\ y=0 \rightarrow \dfrac{\partial^2 T}{\partial y^2}=0 \end{cases}$$



Assume: $u = A' + B'y + C'y^2 + D'y^3$: باید درجه دوم درنظر گرفت.
(لزوما تقارن ندارد)

$$\begin{cases} y=0 \rightarrow u=0 \\ y=\delta \rightarrow u=0 \\ y=\delta \rightarrow \dfrac{\partial u}{\partial y}=0 \\ y=0 \rightarrow \dfrac{\partial^2 u}{\partial y^2} = -g\beta\rho \times \dfrac{1}{\mu} \times (T_w - T_\infty) \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \dfrac{T-T_\infty}{T_w-T_\infty} = \left(1-\dfrac{y}{\delta}\right)^2 \quad (I) \\ \dfrac{u}{u_x} = \dfrac{y}{\delta}\left(1-\dfrac{y}{\delta}\right)^2 \quad (II) \end{cases} ; \quad u_x = \frac{1}{4}\delta^2 g\beta \frac{T_w - T_\infty}{\nu}$$

سرعت موضعی نیست و مطلب برای آنجا است.

ν: Kinematic viscosity

این ۲ معادله را در HBT قرار می‌دهیم.

(H.W. حرف برای $T = A + By + Cy^2 + Dy^3$ حل کنید و T و u برسید.

$$(III) \quad \frac{\delta}{x} = 3.93\,(0.952 + Pr)^{1/4}\, Pr^{-1/2}\, Gr_x^{-1/4}$$

← با فرض آدیاباتیک در بحث دوم و u درجه سوم

Subject: .....

Year..... Month..... Date..... ( )

$$h(T_w - T_\infty) = -k \left.\frac{\partial T}{\partial y}\right|_{y=0}$$

$\frac{\partial T}{\partial y}$ را از معادله (I) در صفحه‌ی قبل جایگذاری می‌کنیم:

$$h(T_w - T_\infty) = -k (T_w - T_\infty) \frac{2}{\delta}\left(-\frac{1}{\delta}\right)$$

$$\Rightarrow h = \frac{2k}{\delta} \Rightarrow \frac{hx}{k} = \frac{2x}{\delta} \Rightarrow$$

$$(IV) \quad Nu_x = 0.509 (0.952 + Pr)^{-1/4} Pr^{1/2} Gr_x^{1/4}$$

T درجه‌ی دوم و ۴ درجه‌ی سوم

حالا Gr چیه؟

$$Gr = \frac{g\beta \Delta T x^3}{\nu^2} \qquad x: \text{ارتفاع دیواره} \qquad \Delta T = T_w - T_\infty$$

چه چیزهایی در Gr وجود داشت؟

g: در خارج از جو زمین دیگر g نداریم یعنی در سفینه‌های فضایی جابه‌جایی طبیعی نخواهیم داشت.

β: ضریب انبساط حجمی؛ گازها و مایعات به جز فلزات دارای β هستند. فلزات سیمولت $\beta = 0$ است. (فلزات β خیلی کوچکی دارند)

در پایان جاوی سیمولت فلزات جابه‌جایی طبیعی نداریم.

باعدد $Re = \frac{U_\infty x}{\nu}$ مقایسه کن: مخرج عامل بازدارنده را نشان می‌دهد و صورت عامل محرک را نشان می‌دهد.

$\Leftarrow \Delta T$ در عدد Gr عامل محرک

نتیجه‌گیری: Gr همان نقش را برای جابه‌جایی آزاد دارد که Re برای جابه‌جایی اجباری.

Sunwood

در جابه‌جایی اجباری نیروی محرکه با سرعت بود $\Leftarrow$ Nu تابعی از Re بود.

در جابه‌جایی طبیعی نیروی محرکه ΔT است $\Leftarrow$ Nu تابعی از Gr است.

Subjeet:

Year..... Month..... Date..... ( )

① ما h موضعی را فعلی دوست نداریم :

$$\bar{h} = \frac{\int_0^l h_x dx}{\int_0^l dx} \qquad (l \leq x_c)$$

Free convection ⇒ : $\bar{h} = \frac{4}{3} h_x$: Laminar Region

② برای حل مسأله به خصوصیات فیزیکی احتیاج داریم :

$$T_f = \frac{1}{2}(T_\infty + T_w)$$

③ جریان آرام : $Gr_x \leq 10^8$ و جریان متلاطم : $Gr_x \geq 10^9$ برای صفحه قائم

Transition جریان : $10^8 < Gr_x < 10^9$

مثال) نشان دهید برای یک گاز ایده‌آل $\beta = \frac{1}{T}$ می‌باشد. (حتماً T بر حسب K است)

حل) صفحه‌ی عمودی به ارتفاع 30 cm دمای 40°C در تماس به دمای 10°C قرار دارد. مطلوبست نرخ انتقال حرارت از این صفحه برای واحد طول ؟

حل) می‌دانیم : $\beta = \frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$ ، $PV = nRT$

$$\beta = \frac{P}{nRT} \times \frac{nR}{P} = \frac{1}{T} \quad \square$$

برای حل مسأله ابتدا خواص را بدست می‌آوریم :

$$T_f = \frac{1}{2}(10 + 40) = 30.8 (K)$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = 3.25 \times 10^{-3} (K^{-1})$$

Subject:

Year..... Month..... Date..... ( )

۱۰/۱- خواص :

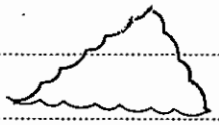
$k = 0.0249 \quad \nu = 17.47 \times 10^{-6} \quad Pr = 0.7$

نرخ متوسط جریان آرام است : $Gr_{x=0.3} = \frac{g\beta \Delta T x^3}{\nu^2} = 1.4 \times 10^8$

$Nu_x = 349.04 = \frac{h_x x}{k} \Rightarrow h_x = 3.21 \ \frac{w}{m^2 {}^\circ C}$

$\bar{h} = \frac{4}{3} \times 3.21 \Rightarrow \bar{h} = 4.3 \ \frac{w}{m^2 {}^\circ C}$

$Q = \bar{h} A \Delta T = 4.3 \times \underbrace{0.3 \times 1}_{\text{طول} \times \text{عرض}} \times (60 - 10) = 64.5 \ \frac{w}{m}$



Subject

Year Month Date

فصل سوم :

Experimental correlations

روابط تجربی مسائله جابجایی آزاد است . بدون تغییر کلی $Nu = F(Gr, pr)$ است .

در جابجایی آزاد Gr و در جابجایی اجباری Re داریم .

$$\overline{Nu} = \frac{\bar{h}L}{k} = C(Gr \cdot pr)^m$$

روابط تجربی : C و m ثوابتی که از تجربه بدست می آیند .

L : بعد مشخصه برای کره قطر و برای صفحه طول

جدول V-۲۵ به همراه جدول V-۱ استفاده می شود ، صفحه ۲۳۴

نکته : حاصل ضرب Grpr در همان عدد است .

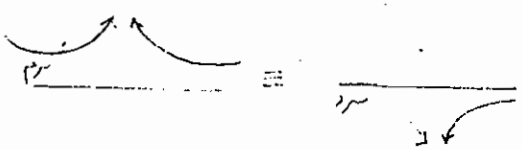
استفاده از معادلات تجربی ← استاندارد رایج یک هندسی پیچیده تر از آن است که بتوان از اعداد تجربی استفاده کرد فقط

کره در محدوده های مختلف با شکل هندسی متفاوت است .

در حل مسائل جابجایی استفاده از جدول بدون Gr و pr در محدوده عدد نسلت را بدست آورده و نشان می دهیم در کدام یک

از range as table قرار گرفته . C و m را استخراج کرده . Nu بدست می آید و h هم بدست خواهد آمد .

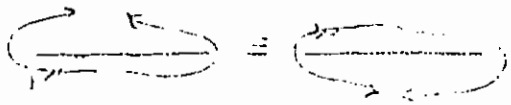
سطح بالایی صفحات گرم یا سطح پایینی صفحات سرد



در این حالت گرمایی وجود ندارد .

Subject:

Year Month Date ( )



هم به لحاظ انرژی و هم از لحاظ ریاضی کاملا هم اند .

سرد رو به بالا گرم رو به پایین

* تنها تفاوت در افت با ورتاندی افقی این است که لایه صفحه هم می شود که سرد رو به پایین است یا گرم رو به بالا و غیره . . .

* در فصل ۲۸ و ۲۹ (روابط چرچیل و بنتم) در فصل ۶ هم داشتیم .
معادلات هستند با گلزن محدوده تری تا $Ra_{10^{12}}$ بسیار بزرگی را پوشش می دهد .

پیچ هم از معادله ۷-۲۵ می توان استفاده کرد و هم از ۷-۲۸ و ۷-۲۹

$Ra = Gr \cdot Pr$ عدد رایلی

پیچ برای هندسه صفحه و لوله چه عمودی و چه افقی روابط تجربی داریم .

تمامی روابط برای حالتی است که دمای سطح ثابت باشد .

در فصل ۶ به خاطر داریم که مسائل را دو دسته کردیم : ۱- ثابت و شار حرارت ثابت .
در فصل ۲۴۵ موضوع سطوح با شار حرارتی ثابت مطرح شده
شکل این جا بت که در یک عدد Gr داریم به صورت :
دمای دیوار مطلق نیست و دمای ثابت هم نیست .

$$Gr = \frac{g\beta(T_w - T_\infty)x^3}{\nu^2}$$

پیچ می دانیم : $h_x = f(x)$ $T_w = f(x)$

* حال اگر دما ثابت باشد h تغیر، q'' تغیر دارد ، برعکس زمانی که q'' ثابت باشد دمای دیوار تغیر می کند .

Sunwood

در آخر دید .

Subject:

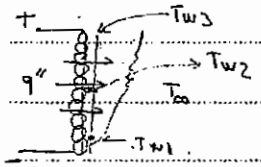
Year..... Month..... Date..... ( )

برای جریان آزاد عدد Gr^* تعریف شده است:

$$Gr^* = Gr \cdot Nu = \frac{g\beta \Delta T x^3}{\nu^2} \cdot \frac{hx}{k} = \frac{g\beta q'' x^4}{k\nu^2}$$

q'' ثابت فرض شده است. برای جریان آزاد گرمایی دیواره ثابت.

جدول ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴، برای آب نگاه شود. بین عدد جریان آزاد Gr از Gr^* استفاده می‌کنیم.



یک المنت برقی پشت شیشه‌ای دارای شدت حرارتی ثابت را به آب می‌دهد.

اگر فرض کنیم آب ساکن باشد:

وقتی به سمت بالا می‌رویم h کم می‌شود چون

$$q'' = h\Delta T = h(T_w - T_\infty)$$

ΔT بیشتر می‌شود پس h کاهش می‌یابد در نتیجه

$$T_{w3} > T_{w2} > T_{w1}$$

T_w زیاد می‌شود پس:

در جریان آزاد جابجایی در صفحات افقی خوانده شود:

شکل ۷-۷ ضمایم جابجایی آزاد بر صفحه شیب‌دار بجای g، $g\sin\theta$ یا $g\cos\theta$ گذاشته می‌شود. صفحه ۴۳ شکل $g\cos\theta$ است.

۹-۸ خوانده شود.

شکل ۷-۹ خوب باید بررسی شود. معادلات ساده شده برای هوا ۹۰٪ آنالیزهای جابجایی آزاد با صدا سروکار دارند.

Subject:

Year..... Month..... Date..... ( )

در جدول ۲-۷ این معادلات داده می‌شود. ص ۴۴ معادلات ساده شده برای جابجایی آزاد از سطح

گرمایش به هوا در فشار 1atm. جایی که فشار atm نیست یا 1atm حل می‌کنیم و با ضرایب تصحیح شده

در کتاب (رام و درهم) اصلاح می‌کنیم.

متغیر جنس، هندسه (ایستاده، صفحه‌ی عمودی، افقی)، یک متغیر برای جریان آرام و یک متغیر

برای درهم

معادله Grpr را حساب می‌کنیم بعدی را تشخیص می‌کنیم که آرام یا درهم است.

* اگر ایستاده در دمای ۱۰۰ با هندسه‌ی یکسان و می‌کی عمودی و یکی افقی داریم کدام انتقال حرارت بیشتری

دارد؟ اگر آرام باشد (توان‌ها) باهم مساویند ضریب‌ها ۱/۳۲، ۱/۴۲ است.

افقی مقدار پرانش ملایم است. جزء L بزرگتر است در حالت عمودی h بزرگتری دارد. (در حالت عمودی L طول

است.)

اگر جریان آشفته بود بعد هندسه در اینجا مؤثر نیست ضریب یکی ۱/۳۱ و یکی ۱/۲۴ است پس ایستاده

عمودی h بیشتری دارد. توان‌ها هم هردو ۱/۳ است.

پس جزء جزء کم شد.

* صفحه ۷-۱۰ جابجایی آزاد از کره بعد هندسی مهم است. معادلات ۴۹ تا ۵۲

یک بحث مرور داده کدام توان

هدف این‌ها h متوسط است. استفاده کرد. برحسب بود.

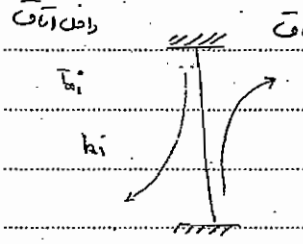
Sunwood

Subject:

Year..... Month..... Date.....( )

* جابه‌جایی آزاد از سطوح بسته :

* دانستن مقاومت حرارتی فضای کنار پنجره‌ها و سطوح دارای پنجره‌های دوجداره اهمیت دارد.



جهت انتقال حرارت داریم : بدنه

به کمک داخل اتاق رانش هوا در کنار شیشه به شیشه می‌رسد سطح شیشه را سرد می‌کند.

$T_{\infty i}$ R_{conv_i} $R_{cond.}$ R_{conv_o} $T_{\infty o}$

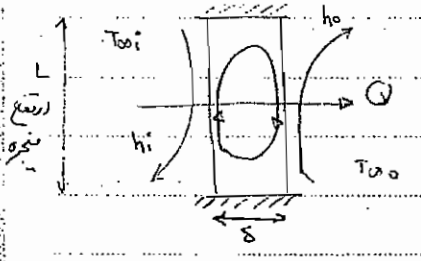
$$Q = \frac{T_{\infty i} - T_{\infty o}}{\sum R}$$

مقاومت‌ها با هم جمع می‌شوند.

مقاومت شیشه

$$\sum R = \frac{1}{h_i A} + \frac{l_g}{k_g A} + \frac{1}{h_o A}$$

* در پنجره دوجداره داریم که بین آن‌ها فضای بسته ایجاد می‌شود :



شیشه‌ی داخل دمای بالاتری دارد. انتقال حرارت جابه‌جایی آزاد

ایجاد جریان بسته خواهیم داشت.

هوای داخل که به شیشه اول می‌رسد سرد می‌شود پایین می‌رود جریان بسته

می‌بینید که دمای شیشه‌ی خارجی را هم بالا می‌برد و انتقال حرارت را کم می‌کند.

متوسط δ در پنجره‌های دوجداره ۱۰ تا ۱۵ mm است.

مربوط به پدیده‌ی فضای بسته

$$\sum R = \frac{1}{h_i A} + \frac{l_g}{k_g A} + \frac{\delta}{k_e A} + \frac{l_g}{k_g A} + \frac{1}{h_o A}$$

$$Q = \frac{T_{\infty i} - T_{\infty o}}{\sum R}$$

وقتی $\sum R$ زیاد می‌شود و ΔT ثابت است پس Q کم می‌شود.

Sunwood

Subject:

Year..... Month..... Date..... ( )

معادلات تجربی متعددی برای بخش همرفتی بدست آورده شده

وقتی که هم باشد صرفاً رسانش داریم . وقتی که بیشتر می شود رسانش بر جابجایی خود هست و یک مقداری

از هر کدام جای جابجایی حرکت بیرونی و رسانش حرکت گردشی را هم انجام می دهند .

معادله ۶۴ بهترین است . (معادلات بقیه را خودتان بخوانید .)

$$\frac{ke}{K} = c\,(Grpr)^{n}\left(\frac{L}{\delta}\right)^{m}$$

effective: مؤثر

ضریب رسانش سیال

سیال بین دو صفحه عملاً ایستا است و همانجا هم رسانش دارد .

ke ⟶ effective → نشان دهنده‌ی رسانش است . هم پدیده‌ی رسانش

از آن دو خالت داده شده هم جابجایی

$\frac{ke}{K} = 1$ ⟵ فقط رسانش داریم $\frac{ke}{K} = 2.5$ ۲/۵ برابر جابجایی

۱ برابر رسانش خالص

* هرچه Gr بزرگتر شود ⟵ $\frac{ke}{K}$ بزرگتر می شود ⟵ برابر جابجایی بیشتر می شود . (برابر رسانش خالص)

$$Gr = \frac{g\beta\,\Delta T\,\delta^{3}}{\nu^{2}}$$

این دو را به عنوان یک لایه رسانش در نظر می گیریم

فقط رسانش که K و آن ke خواهیم که جابجایی را در آن لحاظ کرده ایم .

* جدول ۷-۴ خلاصه روابط تجربی برای جابجایی آزاد در فضای بسته به صورت مقابل ۷-۴ =

* ابتدا Gr را بدست می آوریم (خواص از روی دمای متوسط برداشته شود)

ستون

c ، m ، n را از جدول و ke را بدست می آوریم و در $\sum R$ آن قرار می دهیم و Q بدست می آید

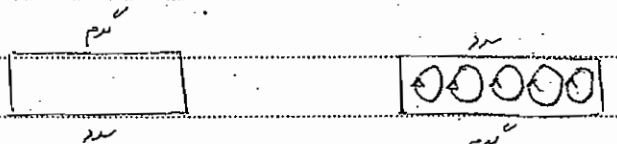
Sunwood

۱۲

Subject:

Year..... Month..... Date..... ( )

در یک حالت تنیز نداریم ولی اغلب دو حالت داریم :



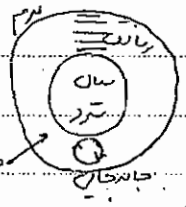
شکل V-10

* انتقال حرارت فقط به صورت رسانش صورت می‌گیرد. جابه‌جایی نداریم چون ضخ انگیزه‌ای برای حرکت مولکول‌ها نداریم.

* جابه‌جایی هم داریم.

* عدد ناسلت $Nu = 2 - 0.25$

در رسانش برای گاز یا مایع دیواره‌ها هم محور عمود - هم محور افق یا کره‌ها



مولکول‌های گرم تمایل به سمت بالا دارند

در نتیجه جابه‌جایی خواهیم داشت

از دیواره با دمای بیشتر

در داخل فضای بسته بالا فقط رسانش داریم. و در بیرون جابه‌جایی و رسانش داریم. هرچه به سمت بالا می‌رویم سهم جابه‌جایی کمتر می‌شود تا جایی که فقط رسانش داریم.

* عدد آن از دیواره‌ای که فضای بین آن هوا است.

* اگر هوای گرم در سرد را در این حالت عوض کنیم مقدار Nu تغییر نمی‌کند.

* مثال) دیوار آپارتمانی دمای هوا $20^\circ C$+ و بیرون آن $-10^\circ C$ است. پنجره‌ای به عرض 2m ارتفاع 1.5m

ضخامت شیشه 6mm با ضریب رسانش $0.8 \frac{W}{m \cdot k}$ به دیوار آپارتمان نصب شده است. نرخ انتقال حرارت از این پنجره را به دست آورید. اگر این پنجره دو جداره با فضای بسته‌ای با ضخامت 5cm باشد نرخ انتقال حرارت

Sunwood

Subject:

Year..... Month..... Date..... ( )

حدس میزنید: در حالت اول $T_{\infty i}$ و $T_{\infty o}$ داریم، A هم معلوم است k_g و δ داریم تنها h_o, h_i

برای حل این مسئله برای h_i سمتی که لوله داریم دمای سمت راست شیشه را داریم برای h_o دمای سمت بیرون شیشه

برای حل این مسئله باید یک فرض کنیم که دمای سمت راست و خارج شیشه مساوی باشد بنابراین فرض:

$$T_{Pi} = 12.5 = \frac{20+5}{2} \quad , \quad T_{Po} = \frac{5-10}{2} = -2.5 \qquad T_w = +5$$

$$Q = 139.3 = \frac{T_{\infty i} - T_{gi}}{1/h_i A} = \frac{T_{go} - T_{\infty o}}{1/h_o A} \qquad \text{جواب: } Q = 139.3\ W$$

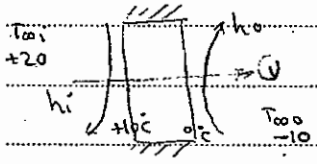
$T_{gi} = 4.67 \qquad T_{go} = 4.3$ اختلاف دمای دو سمت شیشه

این دما خیلی با هم تفاوت دارند پس فرض ما درست نبوده است $4.67 - 4.3$

که خیلی هم با هم تفاوت دارند پس فرض ما درست نبوده است

برای حل این مسئله باید دمای سمت راست شیشه را بدانیم، از مقاومت شیشه صرف نظر میکنیم.

(بین $-10, +20$ را 2)



خواص هوا را در دمای وسط بار در $5°C$ + بدست می آوریم.

$$Q = 60.2 \text{ جواب:}$$

$T_{gii} = 12.2 \qquad T_{gio} = 12.05 \rightarrow$ اختلاف 0.15

شیشه ی اول خارج شیشه ی اول راست

$T_{g2i} = -2.8 \qquad T_{g2o} = -3 \rightarrow$ اختلاف 0.2

نیازی نیست حتما در این اختلاف دما حدس بزنیم تغییر میکند

Sunwood

Subject:
Year. Month. Date. ( )

مساوی بین عدد و عدد حاصل عددی است.

• عددهای c و m در اعداد زیر به دست می‌آید.

کره: شعاع
صفحه: طول
استوانه:

برای راحتی هندسی‌ای که با توجه به شرایط مشخص می‌شود

* جدول 7.1 صفحه 334 کتاب holman مقادیر c و m را برای شکل‌های مختلف می‌دهد.

در این جدول استوانه‌ها را صفحات عمودی در نظر گرفته‌ایم. که در واقع می‌خواهیم بگوییم که استوانه‌ای

همان صفحات عمودی هستند که پیچیده شده‌اند و به شرطی که قطر استوانه از فلان حد

کمتر باشد (که هست هم همینطور است) می‌توانیم از اثنای استوانه صرف نظر

کنیم. بنابراین وقتی در حالت عمودی است صفحه در نظر می‌گیریم استوانه را.

• مشاهدات تجربی عموماً معادلی متوسط برای دهنده‌ی وصفی را خواهیم داد.

سطح با یکی صفحات گرم با سطح یکی صفحات سرد

$$\frac{\text{گرم}}{\text{سرد}} =$$

PAPCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

$\kappa = 0.026$

$\nu = 17.46 \times 10^{-6}$

$pr = 0.7$

$$\frac{Gr}{x=0.3} = \frac{g\beta\Delta T x^3}{\nu^2} = 1.41 \times 10^{+8}$$

چون خیلی بزرگ است، جریان
را آرام فرض می‌کنیم.

$$Nu_x = 36.01 = \frac{h_x}{K}$$

$$h_x = 3.21 \frac{w}{m^2 °C}$$

$$\bar{h} = \frac{4}{3} \times 3.21 = 4.3 \frac{w}{m^2 °C}$$

$$q = hA\Delta T = 4.3 \times 0.3 \times 1 \times (60-10) = 64.1 \frac{w}{m}$$

• روابط تجربی:

Experimental Correlation:

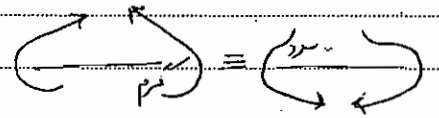
در اینجا هم روابط تجربی را بررسی می‌کنیم با این تفاوت که عدد ناسلت با تابعی از عدد

گراشف و عدد پرانتل است.

$$Nu = f(Gr, pr)$$

$$\overline{Nu} = \frac{\bar{h}L}{K} = c(Gr \cdot pr)^m$$

PAPCO



* نه تنها صفحه افقی با استوانه افقی یکی نمی باشند بلکه دو صفحه افقی سرد رو به بالا یا پایین دیگر هم رو به بالا یا پایین بودن هم برای ما مهم است.

• روابط جریان و حد ساده ای با الگوی پیچیده تر و زیبایی آنها این است که دستهٔ وسیعی از عدد رینولدز را پوشش می دهند. (البته می توانیم از معادله $Re^{7/25}$ هم استفاده کنیم.)

عدد رایلی عبارت است از حاصل ضرب گراشف در پرانتل.

$$Ra = Gr.\,pr$$

مقادیر این روابط برای زمانی است که دمای سطح ثابت باشد.

(در فصل 6 دو نوع داشتیم) { دمای ثابت. / شار حرارتی ثابت.

عدد گراشف را به صورت زیر تعریف کردیم:

$$Gr = \frac{g\beta(T_w - T_\infty)x^3}{\nu^2}$$

اما آیا دمای دیوار معلوم است؟ خیر، شار حرارتی دیوار ثابت است.

می دانیم که یا شار حرارتی ثابت است و یا دما و نمی تواند هر دو با هم ثابت باشند.

$$T_w = f(x)$$

$$q'' = h\Delta T = h(T_w - T_\infty)$$

جایی که دمای دیوار ثابت است، شار حرارتی متغیر است و جایی که شار حرارتی ثابت است، دمای دیوار متغیر است. این از روی رابطه بالا هم مشخص است.

شار حرارتی را داریم و دما را نداریم که بخواهیم عدد گراشف را تعریف کنیم، عدد گراشف ستاره را تعریف کردند.

$$Gr^* = Gr.Nu = \frac{g\beta\Delta T x^3}{\nu^2} \times \frac{hx}{k}$$

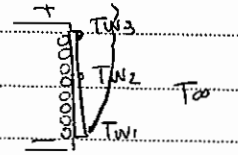
$$= \frac{g\beta q'' x^4}{k\nu^2}$$

در اینجا مجهول دما است، نه دمای ثابت بلکه یک دمای متغیر.

اتفاقی که پیشتر نیز هم بود است، شار حرارتی ثابتی را به یک طرف آدم می دهد،

Subject:
Year. Month. Date. ( )

لایه مرزی تشکیل شده (به شرط مستقیل بودن صفحه اتی)



هرچه رویه بالایی را چنان فضاتت لایه مرزی زیادی شود h کم می‌شود و چون "q ثابت است ΔT باید کم زیاد شود. می‌توانیم بگوییم که: $T_{W3} > T_{W2} > T_{W1}$

* وقتی که سطح ما مایل دارد باشد در روابطمان به جای g از $g\sin\alpha$ یا $g\cos\alpha$ استفاده می‌کنیم.

۹۹٪ مسائل جابجایی آزاد درباره هوا است بنابراین روابط را برای هوا ساده کرده‌اند در جدول 7.2 آورده‌اند

↓

فشار 1atm

اگر فشار جایی 1atm نباشد فشار 1atm آن را حل کرده و با خواص داده شده برای جریان آرام در پیم روابط و مقادیر اصلی را از آن دست می‌آوریم.

* برای استفاده از جدول 7.2 ابتدا عدد Gr.Pr را حساب می‌کنیم و با عدد در جدول مقایسه می‌کنیم.

Subject:
Year. Month. Date. ( )

؟ استوانه عمودی داریم و دقیق می‌خواهیم بررسی کنیم ببینیم که کدام انتقال حرارت بیشتر است. اگر جریان آرام باشد چون عمود طول استوانه بیشتر از ضخامت می‌باشد h کمتر است

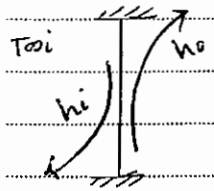
استوانه عمودی که جدار انتقال حرارتش کمتر است، در حالی که اگر جریان درهم باشد h برای حالت عمودی بیشتر و انتقال حرارتش بیشتر است.

* $\bar{h}$ برای ناحیه درهم h ناحیه آرام را هم در دل خود دارد.

عامل روابط ارائه شده برحسب $\bar{h}$ (متوسط) را می‌دهند.

جابجایی آزاد از نمونه‌های بارز جابجایی آزاد از نمونه‌های بارز است.

بارزترین نمونه‌ی جابجایی آزاد نمونه‌هایی است که به صورت دوبعدی هم با آن سروکار داریم، یکی از آن‌ها صفحه‌ی دوبعدی است.

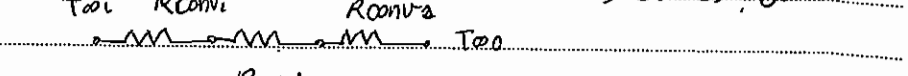


بالا
مولکول‌های هوا گرما را می‌گیرند و به بالا می‌روند و چون مولکول‌های سرد در زیر آن‌ها قرار می‌گیرند، این مولکول‌ها نیز گرم شده و بالا می‌روند.

PAPCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

مدار معادل عبارت است از:



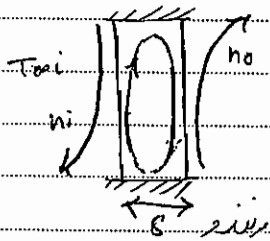
می توانیم مقدار Q را از اختلاف پتانسیل کشش بر مقاومت کل به دست آوریم.

$$Q = \frac{T_{\infty i} - T_{\infty o}}{\Sigma R}$$

$$\Sigma R = \frac{1}{h_o A} + \frac{l_g}{K_g A} + \frac{1}{h_o A}$$

K_g: glass conductivity

دو شیشه داریم که در بین آن ها نادیک فضای بسته به وجود می آید.



مولکول ها از روی سطح گرم گرما را می گیرند و می خواهند

که به بالا حرکت کنند، اما جایی فضا تنگ می شود و برمی گردند

می چرخند با شیشه سرد برخورد می کنند و گرمایشان را از دست می دهند

و یک حلقه تشکیل می دهند.

$$Q = \frac{T_{\infty o} - T_{\infty o}}{\Sigma R}$$

$$\Sigma R = \frac{1}{h_i A} + \frac{l_g}{K_g A} + \frac{\delta}{K_e A} + \frac{l_g}{K_g A} + \frac{1}{h_o A}$$

PAPCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

وقتی که مقاومت ها بزرگ تر شده اند، خروج جان بزرگ تر شده و مقدار Q کوچک تر می شود.

شیشه دوجداره اتلاف حرارت کمتری دارد.

جداره تجربی متفاوتی را برای به دست آوردن مقاومت فضای بسته ارائه داده اند.

فقط کنید که دو ردیف شیشه داریم که بین آن ها یک ردیف مولکول قرار دارد و فقط

یک مولکول بین شیشه گرم و سرد گرما را دور دور می کند، حالا فرض کنید که دو یا چندین

ردیف مولکول باشد، گرمایی گرما از طریق رسانش طی می شود، حالا اگر بیشتر در ردیف ها زیاد

شود علاوه بر حرکت افقی رسانشی یک حرکت گردشی هم برای مولکول ها به وجود می آید که

مقدار مقاومت را زیاد می کند.

$$\frac{K_e^{\text{effective}}}{K} = C(Gr_\delta Pr)^n \left(\frac{L}{\delta}\right)^m$$

سالی که شیشه دوجداره می دهند سرمایه آرگون است

نکته: بین هم پرده رسانش دارد خلا نداریم پرده حائل جابی.

PAPCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

اگر این نسبت $\frac{Ke}{K}$ یک بود، آنوقت این کل حرارت فقط از طریق رسانش منتقل شده بود.

اگر نسبت $\frac{Ke}{K}$ برابر 3.5 باشد، یک سوم برای رسانش داریم و 2.5 سوم برای جابجایی.

هرچه δ بزرگتر باشد چون $Gr(\delta^3)$ دارد سهم $\frac{Ke}{K}$ بزرگتر می‌شود و در حالت حدی یعنی سهم جابجایی بزرگتر می‌شود.

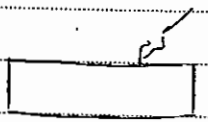
• معادلات لایه وسط را لایه بی‌دررسانش فرض می‌کنیم نه بار رسانش که ضریب رسانش آن فضا بایستی رسانش کلیه جابجایی را هم در نظر بگیرند.

جدول 7.3 روابط تجربی جابجایی آزاد را به صورت خاصه برای گاز-مایع و گاز یا مایع مطرح کرده است.

K: خواص نزدیک دیواری است که در داخل فضای بسته قرار دارد.

جابجایی آزاد فضاهای بسته افقی:

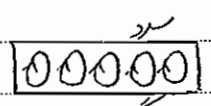
برای افقی دو حالت داریم:



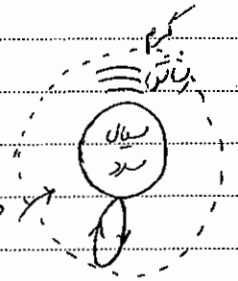
Subject:
Year. Month. Date. ( )

مولکول‌های داخل این فضا گرم شده برای بالا آمدن و سردی انگیزه‌ای برای پایین آمدن ندارند و جابجایی اتفاق نمی‌افتد و انتقال حرارت فقط از طریق رسانش است.

• در حالتی که اگر حالت دوم را در نظر بگیریم هم جابجایی داریم و هم رسانش.



* کره‌ای دو جداره در صنعت داریم.



فضای بین دیواره گرم را پر کرده است.

جابجایی نداریم و هیچ از پایین به بالا حرکت نمی‌کنیم سهم رسانش بیشتر و جابجایی کمتر می‌شود.

فرسک: جایی سیستم استوانه‌ای دو جداره که فضای بینشان هوا است یا چای دیرتر سرد شود، وسط را خلأ می‌کنند تا مولکولی نباشد و وقتی مولکول نباشد انتقال هم نداریم، کلش آن هم همینطور است و فضای بین آن را هوا می‌کنند.

Subject:

Year. Month. Date.

$* \beta = \frac{1}{v}\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p *$ ..... $PV = nRT$ ⇐ ..... گازایده‌آل است.

$\Rightarrow \beta = \frac{P}{nRT} \cdot \frac{nR}{P} = \frac{1}{T}$

برای چنین دراینهای تنگ β داده شده! ..... در مسائل اگر گاز داشتیم ← فرض ایده‌آل بودن ← از بین T به دست

β استفاده می‌کنیم.

$T_f = \frac{1}{2}(10+60) = 35^\circ C = 308\,K$

$\beta = \frac{1}{T} = 3.25 \times 10^{-3}\ K^{-1}$ ..... خواص: $k = 0.0268$ ، $\nu = 17.47 \times 10^{-6}$ ، $Pr = 0.7$

$Gr_{0.3} = \frac{g\beta \Delta T x^3}{\nu^2} = 1.4 \times 10^8$ ..... $\Rightarrow$ بیشتر از 10^8 بیشتر شده دیواره‌ی ما این را دارم ⇐ فرض می‌کنیم.

ما Gr را در $x=0.3$ به دست آوردیم تا ببینیم می‌دانیم از این فرضیات استفاده کنیم یا نه!

$Nu_x = 36.04 = \frac{h_x \cdot x}{k}$ ..... $\Rightarrow h_x = 3.21\ \frac{w}{m^2.^\circ C}$ ..... $\Rightarrow \bar{h} = \frac{4}{3} \times 3.21 = 4.3\ \frac{w}{m^2.^\circ C}$

$q = hA\Delta T = 4.3 \times 0.3 \times 1 \times (60-10) = 64.4\ w/m$

عرض صفحه

* سیستم دوم *

• روابط تجربی ..... experimental correlations.

روابط تجربی در این فصل مشابه فصل 5 است. با این تفاوت که $Nu = f(Gr, Pr)$ است.

در جابه‌جایی آزاد Gr و در جابه‌جایی اجباری Re داریم.

$\bar{Nu} = \frac{\bar{h}L}{k} = C(Gr \cdot Pr)^m$

Subject:

Year. Month. Date.

مدل حاصلضرب متداول‌ترین مدل است که در آن m و c دو ثابت‌اند که از طریق آزمایش بدست می‌آیند.

h بعد هندسه است که برای خط برابر ۱ است.

* معادله $2S = 7$ به همراه جدول $7 - 1$ استفاده می‌شود. ص 334 ... از این جدول متادیر c و m را می‌دهد.

توجه! تنس 2 یعنی باید حواس را در دفاتر بیشتر جمع کنیم.

ما در این جدول استوانه‌ها و صفحات عمود را داریم. در واقع این جدول به ما می‌دید که استوانه‌ها و صفحات عمود هستند که پیچیده شده‌اند، و به شرط اینکه قطر استوانه از ضخامت لایه‌ی دوزی بیشتر باشد (همیشه هم همینطور است) می‌توانیم از فضای استوانه صرف نظر کنیم، بنابراین در حالت عمود استوانه را صفحه در نظر می‌گیریم.

* در حل مسائل چه استوانه و چه صفحه h طول بوده. Gr و Pr را در دفاتر بیشتر آورده نشان می‌کنیم که در کدام‌یک از range ها قرار می‌گیرد. m و c را پیدا کرده و Nu بدست می‌آید، در نتیجه h هم بدست می‌آید.

* معادلات تجربی عموماً مقادیر متوسط را می‌دهند (چه برای جریان آرام و چه درهم)

از نقاط فیزیکی و ریاضی مثل هم هستند ⟵ سرد ≡ سرد

از نقاط فیزیکی و ریاضی مثل هم هستند ⟵ سرد ≡ سرد

سرد رو به بالا ↑ سرد رو به پایین ↓

توجه! نه تنها صفحه‌ی افقی با استوانه‌ی افقی تفاوت نیست بلکه در صفحه‌ی افقی سرد رو به بالا یا پایین بودن و گرم رو به بالا یا پایین بودن هم با هم است.

Subject:

Year. Month. Date.

• روابط چگونه (در فصل 28 و 29) را در فصل 4 هم داشتیم. اگفتن دیگر بالاتری پیچیده‌تر و زیبایی

اگفتن است که دسته‌ی وسیعی از عددها این را نشان می‌دهند. البته از اعداد 25-7 و 28-7 و 29-7

هم می‌توان استفاده کرد.

* عدد این عددها است از حاصلضرب داشتن در چرا نل. $Ra = Gr \cdot Pr$

سیما برآ هندسی صفحه داخله چه در حالت انتقال جمله عمود. روابط تجربی داریم و تا ۱۲ رابطه برآ حالتی است که

دما سطح ثابت باشد.

* در فصل 4 چند نوع مسئله داشتیم: ۱) دما ثابت ۲) شار حرارتی ثابت.

در صفحه 335 موضوع سطح با شار حرارتی ثابت مطرح شده. شرط این جا است که با عدد Gr داریم که تعریف زیر تعریف

می‌شود: در این جا دما دیوار علی‌الاصول نیست و حتی $Gr = \frac{g\beta(T_w - T_\infty)x^3}{\nu^2}$

ثابت هم نیست.

می‌دانیم که با شار حرارتی ثابت است دیگر دما و هر دو هم‌زمان نمی‌توانند ثابت باشند.

می‌دانیم $T_w = f(x)$ و $h_x = f(x)$

اگر دما ثابت باشد، h متغیر و q'' هم متغیر است. برعکس زمانی که q'' ثابت باشد دما دیوار با x متغیر خواهد بود.

$$q'' = h\Delta T = h(T_w - T_\infty)$$ (رابطه)

برای این شرط Gr^* تعریف شده است:

$$Gr^* = Gr \cdot Nu = \frac{g\beta\Delta T x^3}{\nu^2} \times \frac{h_x}{k} = \frac{g\beta q'' x^4}{k\nu^2}$$

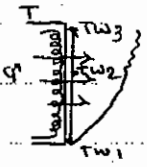
Subject:

Year. Month. Date.

ما در این جا q'' را داریم (در بسته داده شده) . در این جلدا بحول است ، نه دمای ثابت سطح تغییر !

* معادلات ۳۱ ، ۳۲ ، ۳۳ ، ۳۴ در این آخر بیان شده .

* یک انتهای برقی که پشت سیم پیچی شده را در نظر بگیرید . این سیم پیچ شار حرارتی ثابتی را به انتهای دهد .



۳۵ از صفحه‌ی آلومینیومی با شیشه

لایه‌ی مرزی تشکیل می‌شود . هرچه به سمت بالا می‌رویم ضخامت لایه‌ی مرزی افزایش می‌یابد و h کم می‌شود و چون

q'' ثابت است ΔT باید کم زیاد شود و می‌توانیم بگوییم $T_{w3} > T_{w2} > T_{w1}$

همه‌ی این‌ها در صفحه‌ی 341 آزاد در صفحات آخر خوانده شود .

مبحث ۶-۲ راجع به جابه‌جایی آزاد سطوح شیب‌دار به g ، $g\sin\theta$ و $g\cos\theta$ نداشته می‌شود .

* نمره‌ی ۹-۸ خوانده شود . مبحث ۹-۶ را خوب یاد بگیرید !

* ۹۵٪ مسائل جابه‌جایی آزاد با سیال هوا است . بنابراین روابط را برای هوا ساده کرده‌اند و در جدول ۶-۲ آورده‌اند . ص 346

معادلات ساده شده برای جابه‌جایی آزاد از سطوح عمودی به هوا در فشار 1atm ... حال اگر فشار را غیر از 1atm داشتیم ، حل می‌کنیم و با ضرایب نوشته شده در کتاب (آرام و درهم) اصلاح می‌کنیم .

ستون چپ : هندسه استوانه ، صفحه‌ی عمودی و افقی

یک ستون برای جریان آرام و یک ستون برای جریان درهم داریم . سپس اول $Gr.Pr$ را حساب می‌کنیم و کدوم را شخص می‌کنیم که آرام است یا درهم !

* سوال : دو استوانه در دمای 100°C با هندسه‌ی یکسان یکی عمودی و دیگری افقی داریم . کدام انتقال حرارت بیشتری

Subject:

Year. Month. Date.

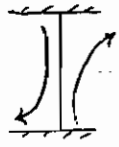
دارد. اگر جریان آرام باشد، توان‌ها با هم برابری‌اند و ضریب‌ها 1.32 و 1.62 است. در استوانه‌ی افقی قسمت مطرح است و در استوانه‌ی عمودی طول است. چون معمولاً طول استوانه بیشتر از قطرش می‌باشد، h استوانه‌ی عمودی بزرگ‌تر و انتقال حرارتش کم است. در حالتی که جریان درهم باشد، بعد هندسی دیگر مطرح نیست. ضریب یکی 1.31 و یکی 1.24 است و به‌ازای حالت عمودی بیشتر می‌شود و انتقال حرارتش هم بیشتر می‌شود.

* روی جدول خوب نگذشتن!

* قسمت 10-7 جابه‌جایی از اندازه‌گیری است که بعد هندسی آن قطر است. عدد رینولدز $\sqrt{52-49}$ را می‌دهد. معادلات

* جابه‌جایی از اندازه‌های بسته *

رایج‌ترین و ملموس‌ترین فضایی که با آن سروکار داریم، پنجره‌ها دوجداره است. خارج اتاق — داخل اتاق



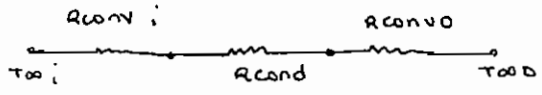
$(T_{\alpha i} > T_{\alpha o})$

در این جا سه پدیده‌ی انتقال حرارت داریم: در جابه‌جایی دیگر رسانش داریم.

در داخل اتاق در کنار شیشه، مولکول‌های داغ هوا حرکتشان را به شیشه می‌دهند که سنگین شده و به پایین می‌آیند.

در بیرون اتاق، مولکول‌های هوا در اثر شیشه گرم‌تر شده که سبک می‌شوند و به بالا می‌روند.

مدار معادل:



$$Q = \frac{T_{\alpha i} - T_{\alpha o}}{\Sigma R}$$

$$\Sigma R = \frac{1}{h_i A} + \frac{l_g}{k_g A} + \frac{1}{h_o A}$$

l_g: ضخامت شیشه.

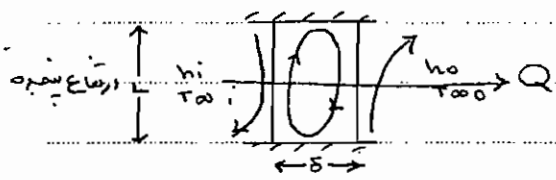
k_g: ضریب انتقال حرارت رسانشی شیشه.

* در پنجره‌ی دوجداره، در شیشه‌ی داریم به‌بین اهمیت فضای بسته ایجاد می‌شود:

Subject:

Year. Month. Date.

* شیشه‌ی دوجداره عایق حرارتی بهتری است. انتقال حرارت جابجایی آزاد در فضای بسته خواهیم داشت. مولکول‌هایی که نزدیک شیشه‌ی اولی می‌شوند گرم و سبک شده و به بالا می‌روند و به جایی سرد می‌رسند. دوباره انرژی را به شیشه‌ی سردتر می‌دهند، پس سنگین شده و به پایین می‌آیند و این چرخه ادامه پیدا می‌کند پس یک حلقه تشکیل می‌شود.



نکته: ضخامت δ در شیشه‌ها دوجداره ۱۵ تا ۱۶ بهتر است.

$$Q = \frac{T_{\infty i} - T_{\infty o}}{\Sigma R}$$

$$\Sigma R = \frac{1}{h_i A} + \frac{l_g}{k_g A} + \frac{\delta}{k_e A} + \frac{l_g}{k_g A} + \frac{1}{h_o A}$$

نکته: در این جا نسبت به شیشه‌ی معمولی ΣR زیاد شده ولی ΔT نیز زیاد است، پس Q تغییر چندانی نمی‌کند.

نکته: تعادل‌ها بهترین معیاری برای فضاهای بسته ارائه شده است.

* هنگامی که در ردیف شیشه داریم که بین آن‌ها ردیف مولکول قرار دارد (δ هیچ‌چیز) و فقط یک مولکول بین شیشه‌ی جلو و شیشه‌ی عقب حرکت می‌کند، حرکت را مختل می‌کند. حال فرض کنید دو یا چند ردیف مولکول باشد، حرکت از طریق رسانش منتقل می‌شود، حال اگر مقدار ردیف‌ها زیاد شود (δ افزایش یابد) علاوه بر حرکت آشفته رسانش نیز حرکت درهم برای مولکول‌ها به وجود می‌آید که مقدار مقاومت را زیاد می‌کند.

نکته: تعادل‌های ۶۴ بهتر نیست، تعادلات بعدی را خودتان بخوانید.

effective: مؤثر

$$\frac{k_e}{k} = C\,(Gr\,Pr)^n \left(\frac{L}{\delta}\right)^m$$

k_e: ضریب رسانش سیال

Subject:

Year. Month. Date.

* سیالی که بین دو شیشه قرار می‌گیرد معمولاً هوا است، هوا هم می‌تواند باشد و انتقال حرارت را هدایت می‌دهد.)

$Ke \longrightarrow$ effective ← همان‌طور که گفتیم انتقال حرارت در آن دخالت دارد هم جابه‌جایی

$\frac{Ke}{K} = 1 \longrightarrow$ فقط رسانش داریم $\quad$ و $\quad \frac{Ke}{K} = 3.5 \longrightarrow$ 2.5 مهم مربوط به

جابه‌جایی است و را مهم مربوط به رسانش خالص.

هرچه δ بزرگ‌تر شود چون Gr (δ^3) داریم پس $\frac{Ke}{K}$ افزایش می‌یابد و در حالت طبیعی مهم

جابه‌جایی افزایش می‌یابد (مهم رسانش ثابت است.) $\quad Gr = \frac{g\beta\Delta T\delta^3}{\nu^2}$

* لایه‌ی وسط را به عنوان یک لایه‌ی رسانش در نظر می‌گیریم، تنها رسانشی که K آن Ke خواهد بود یعنی رسانشی

که جابه‌جایی را در آن لحاظ کرده‌ایم.

* جدول 3-7 روابط تجربی جابه‌جایی آزاد در فضای بسته به صورت خلاصه مطرح شده. به تعبیرات تعریفی بند 7 در کتاب درست شود. ها

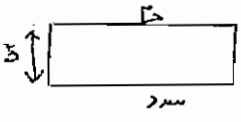
ابتدا خواص را در دمای میانگین (متوسط دما دو شیشه) می‌سنجیم و Gr را بدست آورده و n, m, c را

می‌خوانیم و Ke را بدست می‌آوریم و در ΣR می‌گذاریم و Q به دست می‌آید.

* جابه‌جایی آزاد فضای بسته‌ی محدود سطوح حالت داشتنی در حالت اصلی دو حالت داریم:

• جابه‌جایی آزاد فضای بسته‌ی افقی:

حالت اول) در این فضا موتورها گرم‌کننده‌ای برای پایین آمدن و سطوح سرد کننده‌ای برا



$Nu_\delta = 1.0$

بالا رفتن نداریم و جابه‌جایی اتفاق نمی‌افتد که انتقال حرارت مطابق رسانش است.

حالت دوم) ... دراین حالت هم جابجایی داریم و هم رسانش ... سرد

00000

... $Gr.Sc > 50000$ ... جابجایی هم می شود. ... $Pr : 0.5 - 2$ ... بدنه ها

+ در صنعت لوله ها دو جداره هم داریم. ... یا فرض کنید پوسته ی 3 داریم. در داخل فضای ستبه در بالا فقط رسانش داریم ولی در پایین جابجایی و رسانش داریم. هرچه به سمت بالا حرکت کنیم سهم جابجایی کم می شود تا در بالا صفر می شود و فقط رسانش داریم.

اگر جای گرم و سرد در این حالت عوض کنیم مقدار ... جابجایی کم تغییر می کند.

... مانند جایی دو استوانه ای دو جداره است. به فضای بینشان هوا یا مایع داده است تا چه دیرتر سرد شود. (فقط واهفاده می شد تا معلومی نباشد، دقت مولفوی نباشد انتقالی هم نداریم.) ... طف ... هم همینطور دست دلی فضای بین آن را با هوا پر می کنند.

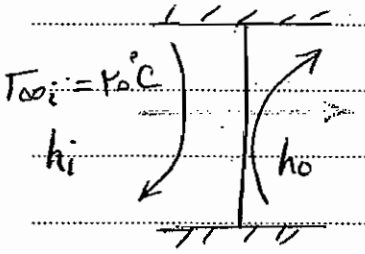
Subject:

Year..... Month..... Date..... ( )

جلسه‌ی سیزدهم ۸۷/۱۱/۲۷

حل مسئله جلسه‌ی قبل) پنجره‌ی اتاقی به ارتفاع ۱٫۵ m و عرض ۲m موجود است شیشه‌ی پنجره به ضخامت ۶mm ضریب رسانش $0.8\ \frac{W}{m.K}$ می‌باشد دمای داخل اتاق ۲۰°C و بیرون اتاق ۱۰°C- است. نرخ انتقال حرارت برای این پنجره را مشخص کنید. اگر شیشه‌ی دوی با همان ضخامت و ضریب رسانش به فاصله‌ی ۵ سانتی متری از شیشه‌ی اول نصب گردد میزان انتقال حرارت چه قدر خواهد بود؟

حل) پنجره‌ی دوجداره و فضای بسته.



در داخل با مولکول های هوا انرژی خود را به شیشه می دهند و انتقال حرارت جابه جایی طبیعی با h_i اتفاق می افتد.

بیرون اتاق برعکس بالا اتفاق می افتد

پارامترهای h_i و h_o مجهول است و باید از روابط فصل ۷ بدست آیند.

$$q = \frac{T_{\infty i} - T_{\infty o}}{\frac{1}{h_i A} + \frac{\Delta y}{k_g A} + \frac{1}{h_o A}}$$

دمای میانگین برای ما هم است ولی دمای شیشه معلوم نمی باشد پس حدس می زنیم:

Assume $\Rightarrow T_{gi} \simeq T_{go} = +5°C$; $T_{\infty o} - T_{go} = 15°C$, $T_{\infty i} - T_{gi} = 15°C$

$$Gr = \frac{g\beta \ell^3 \Delta T}{\nu^2} \begin{cases} \ell = 1.5 \\ \Delta T = 15°C \end{cases}$$

	inside	outside
T_f	285.5 (K)	270.5 (K)
k	0.025	0.023
ν	14.7×10^{-6}	12.5×10^{-6}
$\beta = \frac{1}{T}$	3.5×10^{-3}	3.7×10^{-3}
Pr	0.712	0.716
Gr	8.45×10^{9}	1.17×10^{10}
Gr Pr	6.01×10^{9}	8.41×10^{9}

Sunwood

Subject:

Year..... Month..... Date..... ( )

محل به برای جدول 1-7 می رویم :

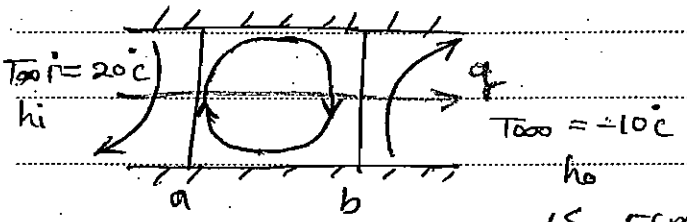
	inside	outside	
C	0/1	0/1	→ هردو در ناحیه آشفته هستند
m	1/3	1/3	
$\overline{Nu}$	181/8	203/3	
$\bar{h}$	3/03	3/24	

$q = 139/29$ (w) : اتلاف حرارتی از بخیره

$q = \frac{T_{\infty i} - T_{gi}}{\frac{1}{h_i A_i}}$ $T_{gi} = 4/67^\circ C \simeq 5^\circ C \Rightarrow$ لازم به تکرار محاسبات نمی باشد.

$q = \frac{T_{go} - T_{\infty o}}{\frac{1}{h_o A_o}}$ $T_{go} = 4/3^\circ C \simeq 5^\circ C \Rightarrow$ لازم به تکرار محاسبات نمی باشد

* البته فرض شده است که جابجایی بیرون بصورت آزاد است (مثلاً باد نمی وزد) حال شیشه را دوجداره کرده ایم :



وقتی یک لایه ی شیشه اضافه شد بین یک مقاومت رسانشی اضافه شد.

البته لایه ی هوای فضای بسته با ضخامت δ ($\delta = 5cm$) داریم.

در فضای بسته مولکول های هوا گرم می شوند و بالا می روند (با گرفتن انرژی از شیشه ی a) و راه فراری ندارند پس به شیشه ی b انرژی می دهند و یک سیکل را طی می کنند.

k_e = Effective heat transfer coefficient

$$q = \frac{T_{\infty i} - T_{\infty o}}{\frac{1}{h_i A} + \frac{\Delta y}{k_g A} + \frac{\delta}{k_e A} + \frac{\Delta y}{k_g A} + \frac{1}{h_o A}}$$

Sunwood

Subjeet:

Year..... Month..... Date.....( )

برای بدست آوردن k_e از رابطه‌ی 7-64 استفاده می‌کنیم.

$$\frac{k_e}{k} = C(Grpr)^n \left(\frac{l}{\delta}\right)^m$$

برای خواندن m و n از جدول 7-3 استفاده می‌کنیم.

Assume: $\begin{cases} T_{gli} = T_{glo} = 10^\circ C \\ T_{gri} = T_{gro} = 0^\circ C \end{cases}$

	inside	Enclosed space	outside
T_p	288	278	268
k	0/0258	0/0245	0/0237
ν	$15/07 \times 10^{-6}$	$13/606 \times 10^{-6}$	$12/13 \times 10^{-6}$
β	$3/47 \times 10^{-3}$	$3/59 \times 10^{-3}$	$3/73 \times 10^{-3}$
pr	0/711	0/714	0/717
Gr	$5/05 \times 10^9$	$2/38 \times 10^5$	$8/34 \times 10^9$
Grpr	$3/59 \times 10^9$	$1/7 \times 10^5$	$6/01 \times 10^9$

بعد هندسی به کار رفته در تعریف برای این دو با هم متفاوت است و برای هم یکی 10^5 و دیگری 10^9 است.

$$Gr = \frac{g\beta \Delta T l^3}{\nu^2} \quad ; \text{ Inside \& outside}$$

$$Gr = \frac{g\beta \Delta T \delta^3}{\nu^3} \quad ; \text{ Enclosed place}$$

با استفاده از جدول 7-1 و 7-3 مقادیر زیر را بدست می‌آوریم:

Inside: $\overline{Nu} = 0/1(3/59 \times 10^9)^{1/3} = 153$

$\bar{h}_i = 2/55 \ W/m^\circ C$

Subject:

Year..... Month..... Date..... ( )

outside: $\overline{Nu} = 0.1 (6.01 \times 10^9)^{1/3} = 184.7$

$h_o = 2.87 \quad w/m^2{}^\circ C$

Enclosed place: $k_e/k = 0.197 (1.7 \times 10^5)^{1/4} \left(\frac{1.5}{0.05}\right)^{-1/9} \Rightarrow$

$k_e/k = 2.167 \Rightarrow k_e = 0.06 \frac{w}{m\,^\circ C}$

اسم متحرک به رسانش است و 1.67 سهم متحرک به جابجایی گرمایی است.

k_e: رسانش + جابجایی k: رسانش به تنهایی

سپس با دو برابر کردن پخش اختلاف حرارتی را از 139 به 60 و 60 را حدس زده (س) $q = 60.16$ داده ایم و کمی صرفه جویی انرژی کرده ایم.

T_{gi} و T_{go} واقعی با مقادیر 10 و 60 خیلی تفاوت ندارد و لازم به حل دوباره ی مسأله نیست.

در پنجره های دوجداره ی واقعی فاصله ی بین دو جداره معمولاً 12 - 15 mm است. پنجره ی داخلی را 4mm و بیرونی را 6mm می گیرند (گاز نه شیشه شکسته می شود. از طرفی شیشه ی ضخیم هم جذب نور را بیشتر می کند و عبور نور کاهش می یابد) بین جداره ها معمولاً Ar است.

* * *

ترکیب جابجایی آزاد و اجباری:

(7.12 * p.357)

گاه جابجایی طبیعی به سمت بالاست. اگر جریان با جهت وزش رو به بالا مرادف جابجایی اجباری ایجاد می شود و جابجایی طبیعی را تقویت می کند. اگر جریان با جهت وزش رو به پایین مرادف جابجایی طبیعی را تضعیف کرد و حتی با تنظیم سرعت می توان سرعت مولکول ها را به صفر رساند.

Subject:

Year..... Month..... Date..... ( )

اینکه اثر جابه جایی آزاد قابل صرف نظر است یا خیر بستگی به برتری مدین هوا (سیال) توسط مقدار $\frac{Gr}{Re^2}$ دارد.

صورت: عامل محرک جابجایی طبیعی $\rightarrow g\beta\Delta T\ell^3$

$$\frac{Gr}{Re^2} = \frac{\frac{g\beta\Delta T\ell^3}{\nu^2}}{\frac{u_\infty \ell}{\nu}^2} = \frac{g\beta\Delta T\ell^3}{(u_\infty \ell)^2}$$

مخرج: عامل محرک جابجایی اجباری $\rightarrow (u_\infty \ell)^2$

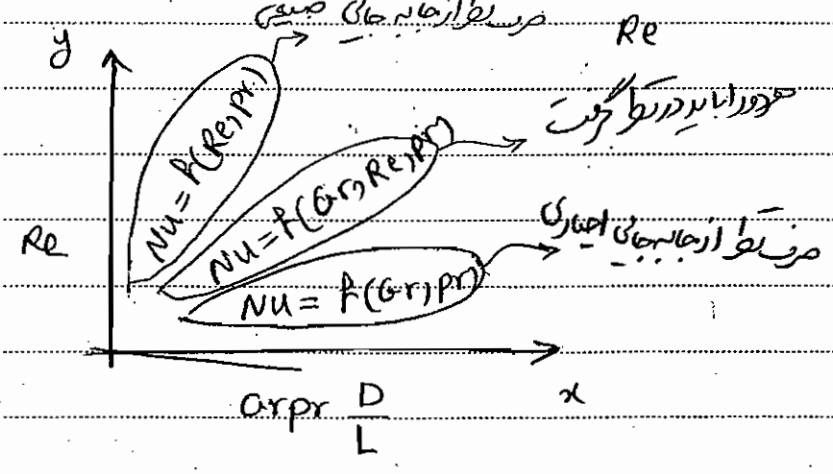
اگر $\frac{Gr}{Re^2} = 1$ یعنی تأثیر جابجایی طبیعی و اجباری نسبی هم است و نمی توان صرف نظر کرد.

اگر $\frac{Gr}{Re^2} > 10$ یعنی می توان از جابجایی اجباری صرف نظر کرد.

اگر $\frac{Gr}{Re^2} < 0.1$ یعنی می توان از جابجایی طبیعی صرف نظر کرد.

پس همیشه ابتدا نسبت $\frac{Gr}{Re^2}$ را بدست می آوریم. به نمودارهای ص۳۵۸، ص۳۵۹ مراجعه کن.

محور x نشان دهنده ی جابجایی طبیعی و محور y نشان دهنده ی جابجایی اجباری است.



Subject:

Year..... Month..... Date..... ( )

فصل ۸: انتقال حرارت در چگالش و جوشش

Condensation + Boiling

محدوده‌ی تفاوت فصل و با فصول قبلی این است که در این فصل تغییر فاز داریم.

$$q = h A \Delta T \quad ; \quad \Delta T = |T_w - T_{sat}|$$

در جوشش $T_w > T_{sat}$ و در چگالش $T_w < T_{sat}$.

← در این فصل یک سری پارامترهای جدید داریم مثل گرمای نهان تبخیر - کشش سطحی (وقتی آبی درون کتری می‌جوشد، شکل، رشد و حرکت حباب‌ها توسط کشش سطحی مشخص می‌شود یا بخش $\frac{1}{3}$ و جمع شدن قطره).

← در این فصل هم دانسیته‌ی مایع و هم دانسیته‌ی بخار را باید داشته باشیم (صعود حباب به علت اختلاف دانسیته است.)

$$h = f(\Delta T, g(\rho_L - \rho_v), h_{fg}, \sigma, L, \underbrace{k, \mu, P, C_p})$$

اندیس این‌ها نسبتی به چگالش یا جوشش دارد.

اگر روی این موضوع آنالیز ابعادی انجام دهیم پاسخ صورت زیر است:

$$Nu = \frac{hL}{k} = C\left[\frac{\rho g(\rho_L - \rho_v) L^3}{\mu^2}, \frac{C_p \Delta T}{h_{fg}}, \frac{C_p \mu}{k}, \frac{g(\rho_L - \rho_v) L^2}{\sigma}\right]$$

$\frac{C_p \mu}{k}$ ↓ Pr

$\frac{\rho g(\rho_L - \rho_v) L^3}{\mu^2}$ ← همان Gr است

$\frac{C_p \Delta T}{h_{fg}}$ ↓ $Ja = \text{Jacobe} = \frac{\text{گرمای محسوس}}{\text{گرمای نهان}}$

$\frac{g(\rho_L - \rho_v) L^2}{\sigma}$ ← Bo

عدد Bond = $\frac{\text{نیروی شناوری}}{\text{نیروی کشش سطحی}}$

Subject:
Year. Month. Date. ( )

جلسه‌ی چهارم ۸۷/۱۱/۲۰

چه می‌شود که یک سطح مایل به جمع کردن وارد و یک سطح مایل به پخش کردن؟
کشش سطحی.

کشش سطحی خودش به یک سری عوامل بستگی دارد:
کیفیت سطح خیلی مهم است در این که چگالش قطره‌ای تشکیل شود یا فیلمی.

در عمل چگالش را چگالش فیلمی رقم می‌زنیم. مصنوعی چون در صنعت حتی اگر با سطح صاف و صیقلی و تمیز کار مان را شروع کنیم پس از مدتی سطح ما رسوب می‌گیرد.
(البته چگالش قطره‌ای هم از چگالش مایل است)
البته در سطح لوله‌های صنعتی را پوشش نازکی از تفلون داده‌اند. یا هر راه بخار مقدار ناخیری روغن می‌پاشند ← اینها اقداماتی در جهت ایجاد چگالش قطره‌ای است.

• ضمن این که داخل لوله‌ی آب سرد و بیرون لوله‌ها بخار قرار دارد (بخاری که تراکم است چگالیده شود)
بین یک h داخل لوله و یک h بیرون لوله داریم. کدام بزرگتر است؟
چگالش هم تراست و مقاومتش کمتر است و مقاومت اصلی در مقابل آب خالص (آب سرد) است.

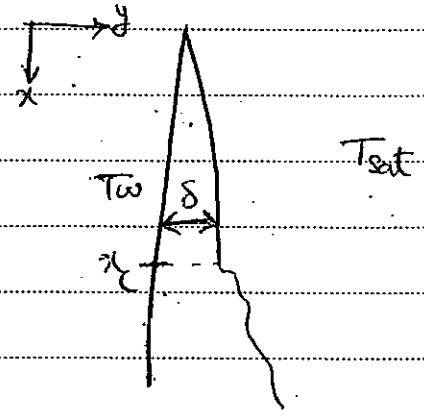
Subject:

Year. Month. Date. ( )

$q = hA(T_{sat} - T_w)$: h را در چگالش می خواهیم

۱) هندسه مهم است (صفحه صاف، لوله، کره و ...)

۲) تئوری یا تجربی : (در کتاب خط برای هندسه‌ی صفحه‌ی عمودی کار تئوری انجام داده است)



صفحه را عمیق در نظر می‌گیریم ← مسئله دوبعدی است.

شرایط S.S است.

از خواص تغییرات فیزیکی با دما صرف نظر می‌کنیم.

بخار در تماس با صفحه‌ی سرد شده و به مایع تبدیل می‌شود، فیلم تشکیل شده و فیلم به سمت پایین ریزش می‌کند.

فیلم تا x_c آرام است و از x_c به پایین آشفته است.

δ با حرکت به سمت پایین دچار افزایش است.

$$-k\frac{\partial T}{\partial y}\Big|_{y=0} = h\left(T|_{y=0} - T_{sat}\right)$$

Laminar Region :

با موازنه جرم و انرژی داریم:

① $u = \frac{g}{\nu}\left(y\delta - \frac{y^2}{2}\right)$: توزیع سرعت

② $\dot{m} = \frac{g\rho}{3\nu}\delta^3$ ← u یا ν؟ $\quad \dot{m}\,[=]\,\frac{kg}{m\cdot s}$ (بر واحد عرض)

در بالا ستاره جرمی نیم صفر است و با افزایش ضخامت ستاره جرم افزایش می‌یابد. سرعت روی دیواره صفر است و با سرعت روی لایه‌ی مرزی صفر نمی‌باشد و برابر سرعت مولکول‌های بخار است.

③ $T = T_w + (T_{sat} - T_w)\frac{y}{\delta}$: با فرض تابع درجه اول

PqPCO

Subject:

Year. Month. Date. ( )

④ $$\delta = \left(\frac{4 k \nu \Delta T \cdot x}{g \rho \left(h_{fg} + \frac{3}{8} c_p \Delta T \right)} \right)^{1/4}$$

هرچه x بزرگتر شود با نسبت $x^{1/4}$ ضخامت هم زیاد می‌شود.

اگر از h_{fg} فاکتور بگیریم: به عدد Ja می‌رسیم:

$$h'_{fg} = h_{fg} + \frac{3}{8} c_p \Delta T = h_{fg} \left(1 + \frac{3}{8} Ja \right)$$

داشتیم $- k \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=0} = h \left(T|_{y=0} - T_{sat} \right) \Rightarrow$

$$- k \left(T_{sat} - T_w \right) \frac{1}{\delta} = h \left(T_w - T_{sat} \right) \Rightarrow h = \frac{k}{\delta} \Rightarrow$$

$$\frac{h x}{k} = \frac{x}{\delta} = Nu \Rightarrow Nu_x = \left(\frac{g \rho h'_{fg}}{4 k \nu \Delta T x^3} \right)^{1/4}$$

جریان آرام روی صفحه عمودی

$\Rightarrow$ h_x بدست می‌آید $\Rightarrow$ $\bar{h}$ بدست می‌آید

؟ $= \bar{h}$, h_x (H.W

معیار آرام بودن جیست؟

صفحه‌ای با عرض b داریم. سیال به سمت پایین از سطح زبرش می‌کند.

اگر نقطه‌ای هم ما مقطع مستطیلی شکل دارد. یک ضلع مستطیل b است که همواره ثابت است. ضلع دیگر δ است که تابعی از x است.

ما می‌خواهیم معیاری را تعریف کنیم:

معیار ما عدد Re است.

$$Re = \frac{\rho \bar{u} d_e}{\mu} \qquad \left(d_e = \text{قطر معادل} \right)$$

$$\bar{u} = \frac{\dot{m} \times b}{\rho \times A} \quad , \quad d_e = \frac{4A}{P} = \frac{4 \times b\delta}{b} = 4\delta$$

$A = b\delta$ ← سطح تر شده

P ← محیط خورده شده ← سطح جریان

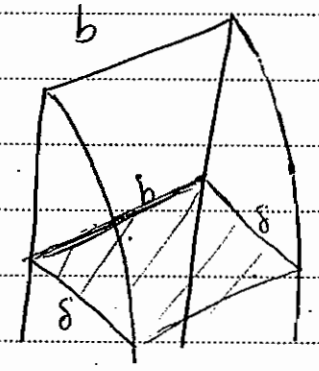
محیط b تری کند.

P&PCO

Subject:

Year. Month. Date. ( )

$$\Rightarrow Re = \frac{\rho \dot{m} \times 4\delta}{\rho \delta \mu} \Rightarrow \boxed{Re = \frac{4\dot{m}}{\mu}} \Rightarrow Re = f(x)$$



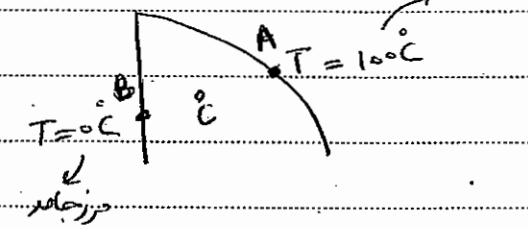
بعضی ها 2100 و بعضی ها 1800 را مرز جریان آشفته نامیده اند.

خواص فیزیکی در دمای T_f بدست می آید به جز h_{fg} که در T_{sat} بدست می آید.

* * *

توضیح h'_{fg}:

به عنوان مثال آب را در نظر می گیریم:



$$h_{fg} = 2{,}2 \times 10^6 \ \frac{J}{kg}$$

$$c_p = 4{,}2 \times 10^3 \ \frac{J}{kg\,^\circ C}$$

$$\frac{3}{8} c_p \Delta T = \frac{3}{8} \times 4{,}2 \times 10^3 \times 1^\circ \times 2 \simeq 2{,}1 \times 10^5$$

$$\Rightarrow h_{fg} = 2{,}2 \times 10^6 \quad , \quad \frac{3}{8} c_p \Delta T \simeq 2{,}1 \times 10^5$$

$$h'_{fg} = h_{fg}\left(1 + \underbrace{\frac{3}{8} c_p \Delta T}_{0{,}1}\right) \qquad (?)$$

به خاطر همین در اغلب معادلات از $\frac{3}{8} c_p \Delta T$ صرف نظر می شود چون $\frac{3}{8} c_p \Delta T$ نسبت به h_{fg} است.

به علت $\frac{3}{8} c_p \Delta T$ جهت h_{fg} مولکول مایع در نقطه ی A نسبت به مولکول مایع در نقطه ی B حدود $c_p \Delta T$ حرارت از دست داده و هم h_{fg} را از دست داده.

Subject:

Year. Month. Date. ( )

$\frac{3}{8} c_p \Delta T$ و $c_p \Delta T$ را از دست داده و h_{fg} ، c نیمی از دست داده. بین $c_p \Delta T$ راهم از دست داده. بین $\frac{3}{8} c_p \Delta T$ متوسط حرارت از دست داده است.

* * * *

معادلات تجربی:

Vertical plate:

روابط مهم برای صفحات عمودی

کاملاً آرام است: $Re \leq 30$; $C_D = \frac{\bar{h}_i \left(\frac{\nu_i^2}{g}\right)^{1/3}}{k_i} = 1.47\, Re^{-1/2}$ عدد رینولدز است

آرام است ولی سطحش کمی موج دارد: $30 \leq Re \leq 1800$; $C_D = \frac{Re}{1.08\, Re^{1.22} - 5.2}$

متلاطم: $Re > 1800$; $C_D = \frac{Re}{8.7 + 58\, Pr^{-0.3} (Re^{0.75} - 253)}$

مهم‌ترین هندسه ما لوله است.

لوله می‌تواند ۴ حالت داشته باشد:

(I) افقی باشد: ① آب سرد درون لوله است و بخار روی آن است ← چگالش بیرون لوله

② بخار درون لوله است و آب سرد روی آن است ← چگالش درون لوله

(II) عمودی باشد: ③ چگالش درون لوله

④ چگالش بیرون لوله

* در لوله‌های عمودی هم چگالش داخل لوله باشد و هم خارج آن از معادلات صفحه عمودی استفاده می‌کنیم (درست حل مسائل ۲)

تنها تفاوتش این است که در این جا $\dot{m}$ به ازای واحد محیط است (ولی آن جا به ازای واحد عرض بود)

لوله عمودی: $\dot{m} = \frac{\rho \bar{u} A}{2\pi r}$; صفحه عمودی: $\dot{m} = \frac{\rho \bar{u} A}{b}$

PAPCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

بخار

آب سرد

* معایب افقی : ① چگالش بیرون لوله :

آیا در این جا آرام و آشفته معنا دارد؟ خیر، چون مسافت جریان کوتاه است

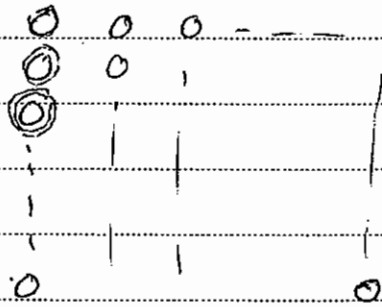
اشکال کار آرام است.

$$\bar{h} = C\left[\frac{g\rho_L(\rho_L-\rho_v)\,k_L^{3}\,h'_{fg}}{\mu_L \Delta T d_o}\right]^{1/4}$$

$$C = 0.729$$

$$\rho_L(\rho_L-\rho_v) \simeq \rho_L^{2}$$

در عمل کندانسورهایی که در صنعت وجود دارد معمولاً تک لوله ندارند.



بیشتر مایع هم از بالایی روی پایینی می‌ریزد.

پس لوله‌های پایینی ضخامت فیلمشان بیشتر است و ضریب انتقال حرارتشان کمتر است.

$$\bar{h}_{N_r} = h_1 N_r^{-1/4} \quad \text{یا} \quad -1/6$$

N_r ← تعداد ردیف‌های عمودی

h_1 ← همان ردیف اول صفحه است

$$\bar{h} = C\left[\frac{g\rho_L(\rho_L-\rho_v)\,k_L^{3}\,h'_{fg}}{\mu_L \Delta T d_o N_r}\right]^{1/4}$$

دوابع برای مجموعه لوله‌ها :

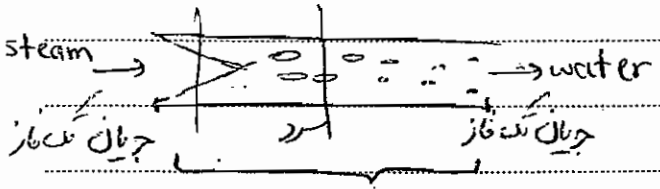
این فقط برای بخار به صورت بلوا جت است.

PaPCO

Subject:

Year. Month. Date. ( )

* لوله افقی : ② همه‌ی دور لوله



مسأله به سه ناحیه تقسیم می‌شود:

۱) جریان حلقوی: داخل لوله یک جریان از مایع وجود دارد که هر چه قدر جلوتر می‌رویم ضخامت مایع زیاد می‌شود.

۲) جریان لخته‌ای: لخته‌های بخار در اثر انتقال حرارت کوچک می‌شوند و به ناحیه‌ی ۳ می‌رویم

۳) جریان حبابی: لخته‌های کوچک شده به حباب تبدیل می‌شوند.

اگر بخار ما super heat باشد یک ناحیه به ابتدا اضافه می‌شود. و اگر مایع ما sub cooled باشد یک ناحیه به انتها اضافه می‌شود.

با حرکت از حلقوی به حبابی با کاهش سرعت در یک مکان ثابت، دانسیته کم می‌شود و در نتیجه Re هم کم می‌شود ولی اصلاً خطی نیست.

Re در لوله

Re_{vapour} , Re_{liquid}

h از روی R_L و R_v بدست می‌آید.

معادلات از روی کتاب خوانده شود.

مثال) $1.3 \frac{kg}{s}$ بخار آب را در فشار 1atm مایع می‌کنیم. برای این منظور از آرایش مربعی لوله‌های به قطر خارجی 1.25 cm، فاصله‌ی مرکز به مرکز 1.9 cm و طولی سه برابر بعد مربع حاصل از چیدمان لوله‌ها استفاده می‌کنیم. اگر دمای سطح لوله‌ها 93°C باشد، تعداد لوله‌های لازم را بدست آورید؟

حل) ابتدا باید خواص فیزیکی را بدست آوریم.

$T_w = 93^\circ C$

$T_{sat} = 100^\circ C \longrightarrow T_f = 96.5^\circ C$

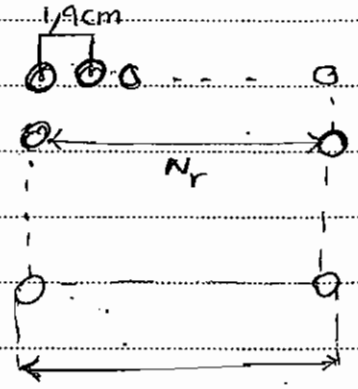
$h_{fg@100^\circ C} = 2.24 \times 10^6 \frac{J}{kg}$ ← از کجا؟

$\rho_f = 960.8$, $k = 0.68$, $\mu = 2.95 \times 10^{-4}$

Subject:

Year. Month. Date. ( )

$\rho_r \ll\ll \rho_L$, $h'_{fg} \simeq h_{fg}$



N_r = تعداد لوله‌ها در هر ردیف یا ستون مربع است

طول لوله سه برابر یک ضلع است : $L = 3\ell'$

$\ell' = [(N_r - 1) \times 1{,}9 + 1{,}2\omega] \times 10^{-2}$

$q_r = \dot{m} h_{fg} = 1{,}3 \times 2{,}26 \times 10^6$ J : کل انرژی که قرار است منتقل شود.

$q = \bar{h} A \Delta T$

$\bar{h} = 0{,}72\omega \left[\frac{g \rho_f^2 h_{fg} k_f^3}{N_r \mu \Delta T d_o} \right]^{1/4}$; N_r = مجهول

$A = (\pi d_o \cdot 3\ell) N_r^2$

$q = \underset{f(N_r)}{\bar{h}} \cdot \underset{f(N_r)}{A} \cdot \Delta T$ ✓ ✓ ✓ ⇒ فقط N_r مجهول است

$\Rightarrow N_r = 30 \Rightarrow N_{total} = 900$

Subject :
Year . Month . Date . ( )

جلسه‌ی چهارم ۸۷/۱۲/۴

جوشش:

۲ نوع جوشش داریم { ۱) استخری (حوضچه‌ای) pool
۲) جابجایی Convective

در هر دو نوع جوشش رخ می‌دهد. مثلاً در یک جوشش حوضچه‌ای داریم. حوضچه جاری نیست! و ورودی و خروجی ندارد.

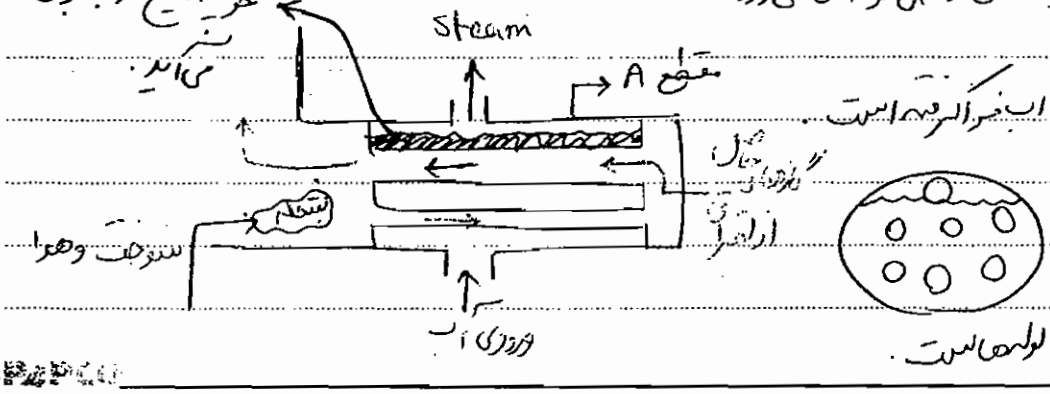
در Convective boiling سیال با دبی جرمی در داخل لوله است و با گرمتر انرژی داخل لوله حرکت می‌کند.

در صنعت دو نوع دیگ بخار داریم: { 1) Fire Tube boiler
2) water Tube boiler

Fire Tube boiler برای ظرفیت‌های کم (۲۰ الی ۳۰ تن در ساعت) است.
" " water " برای " بسیار زیاد (چند صد تن در ساعت) است.

Fire Tube: پتروشیمی ـ صنایع غذایی ـ پالایشگاه‌ها
Water Tube: نیروگاه‌ها

در Fire Tube ما مخزنی داریم که چند لوله‌ی آبی درون آن است. آتشدان درون آن است و شعله‌ی تولیدی آن داخل لوله‌ها می‌رود.



لوله‌های لوله‌ها را آب فرا گرفته است.

برش A:

حوضچه لوله‌های لوله‌ها است.

Subject:
Year. Month. Date. ( )

در Water Tube آب داخل لوله است. تصور کنید زودتر لوله باشد. لوله های عمودی آب که رو به بالایی روند. شعله ای وسط آنان است و به لوله ها گرما می دهد. آب داخل لوله است و گرم می شود.

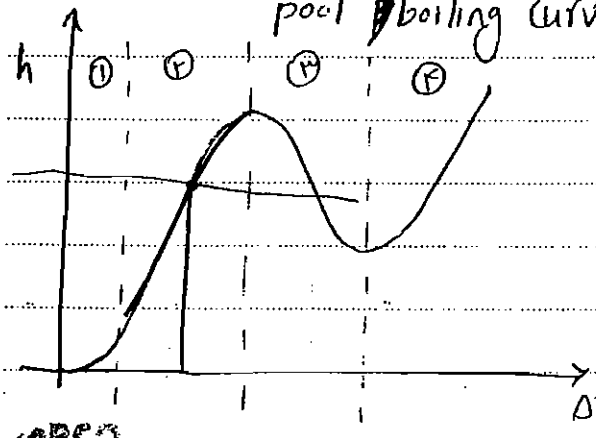
در صنعت و نیروگاه نیاز به بخار high pressure داریم.
ضخامت دیواره به فشار بخار بستگی دارد.
لوله های باریک تحمل فشار را دارند و هزینه ها کاهش می یابد.

آخر در آزمایشگاه تقریبا همین است pool boiling می باشد.

برای جوشش راهکار تئوری درستی وجود ندارد. علت این است که جوشش فرآیندی به کیفیت سطح وابسته است.
مثال عملی: در تابلمه آب را می جوشانیم. از نقاصی حباب بیرون می آید. با سیخ کف تابلمه می کشیم، آنان تعداد حباب ها خیلی زیاد می شود ← کیفیت سطح روی جوش تاثیر دارد است.
پس در صنعت هم چند تا سنگ می اندازیم تا از روی ناهمواری ها حباب تشکیل شود و جوشش شدید شود.

مفاهیم کلی:
در جوشش نموداری داریم که اسمش بحث جوشش است = Boiling Curve

ثابت ← متغیر
$T_w - T_{sat} = \Delta T$ = محور افقی



البته نمودارها کاربردی اما برای تمام سیالات.
در هر فشاری اگر به همین صورت رو به روست.

Subject:
Year . . . Month . Date . ( )

بررسی نمودار:

در کاربردهای عملی باید در کدام ناحیه کار کنیم؟ ناحیه‌ی ② چون می‌توان با بیشترین ΔT یک h مشخص را گرفت منطقی می‌کند اولی بهتر که در ΔT کمتری موجود آید. (؟)

ناحیه‌ی ①: Natural Convection: اختلاف دما بسیار کم و نزدیک به یک درجه است. در این ناحیه هیچ حبابی مشاهده نمی‌کنیم. از یک طرف شیشه‌ای سطح جریان‌های داخلی به سمت بالا حرکت می‌کنند ولی حبابی نداریم. در واقع Surface evaporation داریم.

لذا بر این ناحیه کاربرد صنعتی ندارد.

$$Nu = C(Gr \times Pr)^m$$

ناحیه‌ی ②: Nucleate (Bubble) Boiling

از روی سطح داغ حباب‌ها شکل می‌گیرند. حباب‌ها بزرگ می‌شوند و نیروی شناوری آن‌ها زیاد می‌شود و از روی سطح کنده می‌شود. در مسیر خود هم به حباب‌های دیگر برخورد می‌کند و گاه می‌ترکد و گاه رشد می‌کند.

* حالا چرا h ناگهان زیاد می‌شود؟

چون وقتی حباب‌ها بالا می‌آیند آشفتگی زیادی ایجاد می‌کنند.

برای این ناحیه مدل‌های گوناگونی داریم:

بهترین معادله برای سیال خوشتان حبابی: معادله رایزنوف: (معادله‌ی ۴۳-۲)

$$\Delta T_{sat} \Rightarrow \frac{C_l \Delta T}{h_{fg} Pr_L^s} = C_{sf}\left[\frac{(q/A)}{\mu_L h_{fg}}\sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_L - \rho_v)}}\right]^{-1/3}$$

(Constant ← C_{sf}: surface, Fluid)

C_{sf}: ثابتی است که به نوع سطح و نوع سیال بستگی دارد. در جدول (۲-۹) خوانده شود.

توان s: آب $s = 1$، برای غیر آب $s = 1/7$

Subject:
Year. Month. Date. ( )

توضیحات این فرمول از روی کتاب خوانده شود.

ناحیه‌ی ③: Film Boiling

حین این قدر حرارت می‌دهیم که حباب‌ها شدید تشکیل گردند و حباب‌ها روی سطح این قدر زیاد است که فیلم تشکیل می‌شود. با تشکیل فیلم ارتباط بین مایع و سطح داغ قطع می‌شود و حرارت برای رسیدن به مایع باید از فیلم بخار عبور کند ⇐ فیلم مانند مقاومتی عمل می‌کند و h کاهش می‌یابد.

(۹-۴۱):

$$h_b = 0.62 \left[\frac{k_v^3 \rho_v (\rho_L - \rho_v)(h_{fg} + 0.4 C_p \Delta T)}{d \mu_v \Delta T} \right]^{1/4}$$

d: قطر هندسی

درست مثل خواص فیزیکی برای سیال (مایع) بودیم در این جا که تعیین کننده‌ی انتقال حرارت است خواص فیزیکی بخار است. به خصوص k_v ! چون توان ۳ دارد.

k_v: ضریب رسانش گرمایی بخار است.

ناحیه‌ی ④: Film Boiling + Radiation

در نواحی قبل سهم تابش کم بود. ولی الآن سهم تابش زیاد است. (سطح این قدر داغ است که تابش می‌کند) منحنی تا کی بالا می‌رود؟ تا جایی که جذب می‌شود. (جایی که T_w به دمای زیاد جذب نمی‌رسد)

$$h_T = h_b \left(\frac{h_b}{h_T} \right)^{1/3} + h_r \qquad (۹-۴۳)$$

h_T: total

$$h_r = \frac{\sigma \varepsilon (T_w^4 - T_{sat}^4)}{T_w - T_{sat}} \qquad (۹-۴۴)$$

ε: ضریب نشر سطح داغ

PCC

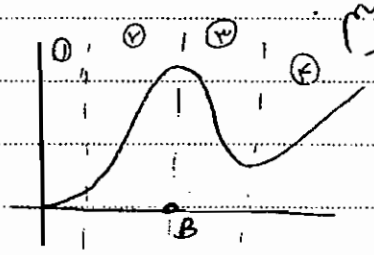
Subject:
Year. Month. Date. ( )

* چه جوری می‌توانیم مطمئن شویم که در ناحیه ② هستیم؟ (۶-۳۹)

$$\left(\frac{q}{A}\right)_{Max} = \frac{\pi}{24} h_{fg} \rho_v \left[\frac{\sigma g (\rho_L - \rho_v)}{\rho_v^2}\right]^{1/4} \left(1 + \frac{\rho_v}{\rho_L}\right)^{1/4} \quad @T_{sat}$$

این فرمول به هر سه ناحیه ② و ③ اشاره می‌کند. چگونه از این فرمول استفاده کنیم؟

در این فرمول تمام خواص فیزیکی در دمای اشباع است. (پس اگر آب گفت با دبی 59lbm خواص را در این ستار می‌خوانیم.) با داشتن $\left(\frac{q}{A}\right)_{Max}$ در فرمول مربوط به ناحیه ② (رابطه) می‌توان به ΔT_{Max} رسید و در نتیجه به نقطه‌ی B می‌رسیم.



در عمل در صنعت جوشکاری روی نقطه‌ی B عمل نمی‌کند و همواره کمی جلوتر عمل می‌کند.

یعنی در صنعت $\left(\frac{q}{A}\right)_1 = \left(\frac{q}{A}\right)_{Max} \times 0.7$ می‌باشد. ← در رابطه

چون با تغییراتی در ΔT ممکن است از B به سمت راست منتقل شویم.

البته می‌دانیم که $\frac{q}{A} = h \Delta T$ است.

جدول (۳-۹): روابط ساده شده برای آب در فشار اشباع است. خوبی این جدول این است که نیازی به در آوردن خواص فیزیکی آب نداریم.

حالا برای استفاده از جدول (۳-۹) اگر فشار یک اتمسفر نبود چی کار کنیم؟ در $\frac{P}{P_1}$ ضرب می‌کنیم.

$$h_P = h_1 \left(\frac{P}{P_1}\right)^{0.4}$$

↳ فشار اتمسفر

Subject:
Year. Month. Date. ( )

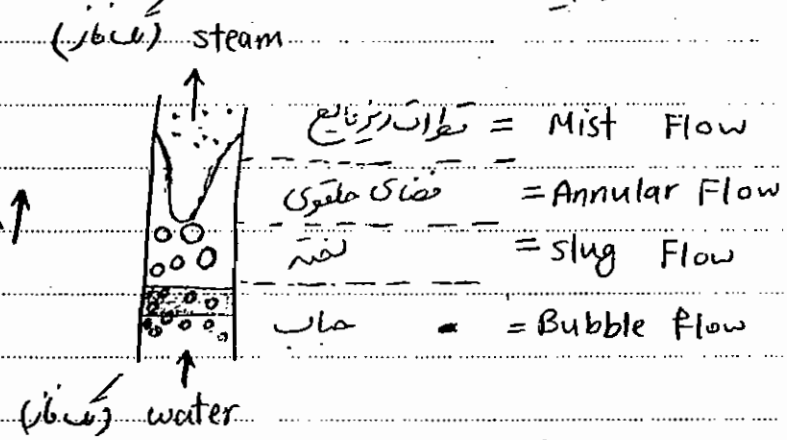
جدول (۶-۹) : برای سیال های غیر آب نسبت h آن سیال به h آب را به ما می دهد.

جدول (۹-۳)

مثلاً در کارخانه ی شکر سازی برای سیستم تبلیط کننده : ابتدا برای آب h را بدست می آوریم و سپس با جدول (۶-۹) آن را به h آب و شکر تبدیل می کنیم.

تا کنون همه ی بحث ها برای جوشش حوضچه ای بود.
برای جوشش Convective داستان کمی پیچیده تر است.

: Convective Boiling



$h = f(x)$

از پایین به بالا (سرعت جلیه بخار) سرعت زیاد می شود.

هر مقطع لوله را تودهی سیال در نظر می گیریم. این تودهی سیال از دیواره گرما می گیرد و می جوشد.
این مقطع (حوضچه) داخل لوله بالا می رود.

$$\left(\frac{q}{A}\right)_{\text{convective Boiling}} = \left(\frac{q}{A}\right)_{\text{pool Boiling}} + \left(\frac{q}{A}\right)_{\text{Forced Convection}}$$

معادله ی (۹-۳۸) همین بود است (دیده شود)

" (۹-۴۰) "

تبصره خوانده شود.

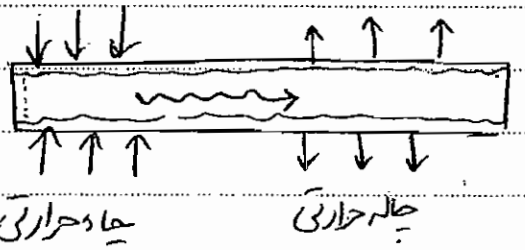
Subject:
Year . . . Month . Date . ( )

Heat Pipe:

داخل این لوله مساله ای داریم که فضای متخلخلی است که تأمین خاصیت موئینگی را می کند. سیال داخل می تواند آب، الکل، آمونیاک، سدیم و ... باشد. (نقطه جوش هاد T_{sat} های مختلف)

یک سمت لوله در معرض گرما قرار می گیرد. این گرما باعث جوشش سیال می شود. سیال بصورت بخار حرکت می کند تا به سطح سرد برسد. وقتی سیال به ناحیه ی سرد برسد کندانس می شود و حرارت را از دست می دهد و مایع می شود. و وقتی مایع شد توسط فیله و خاصیت موئینگی به ناحیه اول می رود.

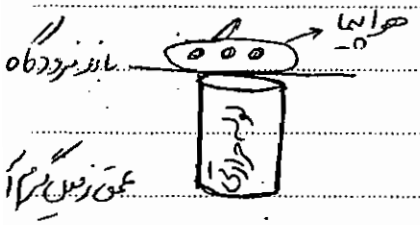
به چه دردی می خورد؟ این وسیله حرارت را از ناحیه ای به ناحیه ی دیگر می برد. بدون صرف هزینه ی خاصی!



شکل در صفحه ۳۵ کتاب

در laptop لوله های حرارتی داریم. (به جای فن در کامپیوتر)

در کشورهای اسکاندیناوی زیر پای فرودگاه ها برای ذوب یخ از لوله های حرارتی استفاده می شد.



20°
آخر زمستان

Subject:

Year. Month. Date. ( )

IPCO

جلسه‌ی پنجم ۸۷/۱۲/۷ (بازم دیر رسیدم سرکلاس اول خودم آدم بدجنسی :C)

Subject:
Year. Month. Date. ( )

مثال: لوله‌ای است به قطر خارجی 19mm و طول 3.6m و دمای سطح بیرونی $72^\circ C$. درمعرض بخار آب در دمای $128^\circ C$ قرار دارد. مطلوبست نرخ چگالش برای
الف) لوله عمودی ب) لوله افقی.
ج) وقتی چگالش دائم مایل تشکیل می‌شود (چه‌طوری عمودی و چه‌طوری افقی) و تمامی خواص به جز h_{fg} در دمای فیلم تعیین می‌شود.

$T_f = \frac{1}{2}(72+128) = 100^\circ C$

$k = 0.682$ $\quad \rho = 960$ $\quad \mu = 0.2824 \times 10^{-3}$ $\quad h_{fg} = 2257 \frac{kJ}{kg}$ @ T_{sat}

الف) Vertical pipe:

می‌دانیم طول 3.6m منجر به آشفتگی می‌شود یا خیر.

Assume Turbolent:

$$\bar{h} = 0.0077 \left(\frac{k_L^3 \rho_L^2 g}{\mu_L^2}\right)^{1/3} \left(\frac{4M}{\mu}\right)^{0.4} \quad (1) \qquad M = \text{tube loading} = \frac{kg}{m \cdot s}$$

(واحد دبی جرمی لوله (در محیط دو برابر عرض است))

$$\left.\begin{aligned} q &= \bar{h} A \Delta T \\ q &= \dot{m} h_{fg} \end{aligned}\right\} \quad \bar{h} A \Delta T = \dot{m} h_{fg} \Rightarrow \bar{h} = \frac{\dot{m}}{\pi d_o} \times \frac{h_{fg}}{L \Delta T}$$

($A = \pi d_o L$)

$$\Rightarrow \bar{h} = M \frac{h_{fg}}{L \Delta T} \quad (2)$$

در معادله‌ی (1) هم $\bar{h}$ مجهول است و هم M.

در معادله (2) هم $\bar{h}$ هم M مجهول است.

$$\left.\begin{aligned} M &= 1.204 \ \frac{kg}{m \cdot s} \\ \bar{h} &= 13.02 \ \frac{kw}{m^2 \cdot s} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \dot{m} = \pi d_o M = 0.0721 \ \frac{kg}{s}$$

باید مطمئن شویم که فرض آشفتگی صحیح است.

$$Re = \frac{4M}{\mu} = 17,950 > 2100 \Rightarrow$$ فرض تلاطم فرض درستی است

تونستم درک کنم؟ نه!

Subject:
Year. Month. Date. ( )

ب) Horizental pipe:

* ویژگی لوله‌ی افقی این است که اصلاً آرام یا آشفته بودن معنی ندارد.

$$\bar{h} = 0.725 \left[\frac{k_L^3 \rho_L^2 g h_{fg}}{d_0 \mu_L \Delta T} \right]^{1/4}$$

$$\Rightarrow \bar{h} = 8930 \ \frac{W}{m^2 °C} \ , \ \dot{m} = \frac{\bar{h} A \Delta T}{h_{fg}} = 0.049 \ \frac{kg}{s}$$

* در حالت افقی جریان کاملاً آرام است و ضریب انتقال حرارت هم بسیار پایین است.

← اگر لوله‌ی ما به جای اینکه 36cm بود، فقط 20cm بود چه اتفاقی می‌افتاد؟
در سمت افقی تغییری نمی‌کند و باز هم $\bar{h} = 8930$ خواهد بود.
اما در سمت عمودی جریان قطعاً آرام می‌شود و $\bar{h} \simeq 6000$ می‌شود.
⇐ در این حالت نرخ چگالش لوله‌ی افقی بیشتر از لوله‌ی عمودی می‌شود.

نکته:
- اگر جریان در لوله عمودی متلاطم باشد: $\bar{h}_{\text{عمودی}} > \bar{h}_{\text{افقی}}$
- اگر جریان در لوله‌ی عمودی آرام باشد: $\bar{h}_{\text{عمودی}} > \bar{h}_{\text{افقی}}$

مثال) مثال قبل را در مورد لوله با طول 36cm تکرار کنید؟ (در طول 44cm متلاطمی شروع می‌شود $Re = 2100$)
$L = d_0 \rightarrow \bar{h} = 11690.15$
$L = \ell \rightarrow \bar{h} = 5603.16$
؟ یعنی در فرمول 0.725 ضریب L باید طول لوله را بگذاریم؟

مثال) تری بالغ تخت به قطر 30 cm موجود است. می‌خواهیم 2.3 kg آب را در فشار 1atm دوات یک ساعت در این تری بجوشانیم. دمای کف تری چقدر می‌باشد؟ (دمای آب 100°C است)

IPCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

Table (9-3) حل: به سراغ جدول (۹-۳) می‌رویم.

Horizental surface: $q/A < 16 \frac{w}{m^2}$ $\quad \bar{h} = 1.42 (\Delta T)^{1/3}$

$16 < q/A < 240$ $\quad \bar{h} = 5/56 (\Delta T)^3$

ابتدا تشخیص می‌دهیم که در کدام محدوده قرار داریم:

$$q = \dot{m} h_{fg} = \frac{2/4}{2400} \times 2/258 \times 10^6$$

$$\Rightarrow q = 1441/4 \ w \Rightarrow \left\{ q/A = \frac{1441/4}{\frac{\pi}{4}(0/3)^2} = 20/4 \ \frac{kw}{m^2} \right\}$$

$$\frac{q}{A} > 16 \Rightarrow \bar{h} = 5/56 (\Delta T)^3$$

می‌دانیم: $q/A = \bar{h} \Delta T \Rightarrow \frac{q}{A} \frac{1}{\Delta T} = 5/56 (\Delta T)^3 \Rightarrow$

$$\Delta T = \left(\frac{20/4 \times 10^3}{0/56} \right)^{1/4} = 71/78^\circ C \Rightarrow \boxed{T_w = 107/8^\circ C}$$

* برای روابط جوشش جمع صادری موضعی نداریم.

$\frac{q}{A}$ ← اگر می‌خواستیم در ظ ۰/۵ ساعت بجوشانیم، چه می‌شد؟

$$\Delta T = \left(\frac{40/8 \times 10^3}{0/56} \right)^{1/4} = 9/25^\circ C \Rightarrow T_w = 109/25^\circ C$$

کمتر از ۲°C اختلاف دما ← داشتیم.

⇐ جوشش پدیده‌ای بسیار بسیار غیرخطی است.

مثال) برای تولید $910 \frac{kg}{hr}$ بخار آب اشباع در فشار گیج 0/345 atm در فرایند جوشش مقابل هستیم‌ای با $\Delta T = 4^\circ C$ چه طولی از لوله‌های مسی به قطر خارجی 2/54 cm نیاز است؟

Subject:
Year. Month. Date. ( )

$P_{sat} = 1/34\Delta\ atm \Rightarrow T_{sat} = 108/\Delta^\circ C \Rightarrow h_{fg} = 2/234 \frac{MJ}{kg}$ (حل

$\rho_v = 0/8 \frac{kg}{m^3}$,

$T_w = 112/5^\circ C$, $T_{f0} = 110/5^\circ C$

* چون جوشش حبه‌ای - حرارتی است کمای حوالص را در دمای اشباع می‌خواهیم .

معادله رازنوف : (9-33) : $\frac{C_L \Delta T}{h_{fg} P_r^s} = C_{SF} \left[\frac{(q/A)}{\mu_L h_{fg}} \sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_L - \rho_v)}} \right]^{1/3}$

همه خواص در T_{sat} است!

$C_L = 4223$

$\mu_L = 2/\Delta 4 \times 10^{-4}$ $\rho_L = 9\Delta 1/V$ $\sigma = \Delta 7/4 \times 10^{-3}$

$C_{SF} = 0/13$

$q = \dot{m} h_{fg} = \frac{910}{3600} \times 2/234 = 0/\Delta 9\Delta$ (MW)

رازنوف $\Rightarrow A = 48/94\ m^2 \Rightarrow A = \pi d_o L \Rightarrow \boxed{L = 7/4\ m}$

مثال) دیگ بخاری از نوع آب در لوله (water tube) دارای تعداد زیادی لوله به قطر 2cm و طول 3m است. از این دیگ برای جوشش اجباری آب در فشار $3 \frac{MN}{m^2}$ و اختلاف دمای $10^\circ C$ استفاده می‌شود. مطلوبست نرخ تولید بخار در این دیگ؟

حل) فرمول (9-48) : $\bar{h} = 2/\Delta 4 (\Delta T)^3 e^{\frac{P}{1/\Delta\Delta 1}}$; $P[=] \frac{MN}{m^2}$

فرمول کی نرمول ساده شده برای آب

$\Delta T = 10^\circ C$, $P = 3 \Rightarrow \bar{h} = 2/\Delta 4 (10)^3 e^{\frac{3}{1/\Delta\Delta 1}}$

$\Rightarrow \bar{h} = 17/\Delta V \frac{kW}{m^2 {}^\circ C}$

$q = \bar{h} A \Delta T = \dot{m} h_{fg}$

$$xL = 100\,\pi\,(0.025)\times 1 = 6.28\ m^2$$

$$P_{sat} = 3\ \frac{bar}{m^2} \Rightarrow T_{sat} = 233.8^{\circ}C \Rightarrow h_{fg} = 1.795\ \frac{MJ}{kg}$$

$$\Rightarrow \bar{h} A \Delta T = \dot{m} h_{fg} \Rightarrow \dot{m} = 0.615\ \frac{kg}{s}$$

$$\boxed{\dot{m} = 2.217\ \frac{ton}{hr}}$$

* * * *

تمرین) میله‌ای مسی به قطر 2cm و طول 1m با دمای 800°C به طور ناگهانی به درون فرن بسیار بزرگ از آب در فشار 1atm و دمای 100°C قرار داده می‌شود. مطلوبست نمودار تغییرات دمای این میله به عنوان تابعی از زمان؟

حل) فصل 4 راکوان. (انتقال حرارت ناپایدار داریم)

ابتدا دمای بسیار بالایی داریم ⇐ در ناحیه‌ی ④ هستیم ؛ جوشش فیلمی حواله با تشعشع

به تدریج از ④ به سمت ① حرکت می‌کنیم و هربار با تغییر نواحی $\bar{h}$ و معادلات عوض می‌شود.

جسم مسی است بنابراین کوچک بنابراین می‌توان برای حل مسئله ناپایا از یک Lamped استفاده کنیم.

$$\frac{(T_f - T_\infty)}{(T_i - T_\infty)} = e^{-\frac{hA}{\rho C V} t}$$

A، ρ، C، V ثابت است اما h متغیر است، $h = h(t)$ است و تابعی بسیار پیچیده است و مایل انتگرال‌گیری هم نیست

دائم حین حل هستیم مسائل را بصورت عددی (مرحله به مرحله و پله پله) حل کنیم

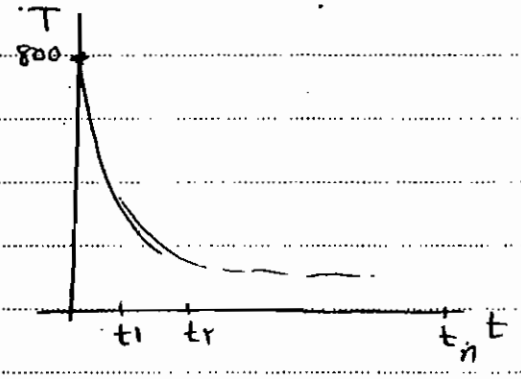
T_i	T_f	h	t
800	750	✓	t_1 (Lamped)
750	700	✓	t_2
⋮	⋮		
120	115		
115	110		
110	108		
⋮	⋮		$t_n = t_{total}$ = ✓

پله‌ی اول: از 800 به 750 می‌رسیم و در ناحیه ④ هستیم

$T_i = 800$ ، $T_f = 750$

در پله‌های پایین‌تر مقدار ΔT کمتر از 50°C زیاد است و پله‌ها کوچک‌تر می‌شود.

Subject:
Year. Month. Date. ( )



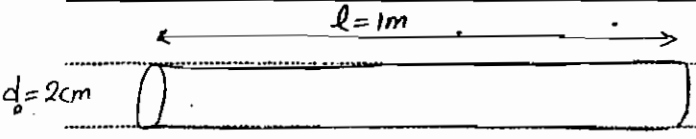
ابتدا شیب نمودار زیاد است و بتدریج کم می‌شود.

مرز بین ناحیه‌ی ② و ③ را معادله‌ی زیر تعیین می‌کند و مرز بین ناحیه‌ی ① و ② هم $\frac{1}{2}$ است.

$$\frac{T-800}{0-800} = \frac{t-0}{t_n-0}$$

از ناحیه‌ی ④ به ③ سهم تابش کم می‌شود. مثلاً ماخودمان تعیین می‌کنیم که اگر سهم تابش کمتر از ۱٪ شد می‌توان از تابش صرف نظر کرد.

Subject · Date :



تمرین صفحه ۴۱۲ جزوه حرارت

$T_w = 800°C$ $P = 1atm$, $T_{sat} = 100°C = T_\infty$ / $T_f = \frac{T_w + 100}{2}$

$T_w = f(t) = ?$ (Lamped)

روش حل مسئله :

$$\frac{T_{f_{final}} - T_\infty}{T_i - T_\infty} = \exp\left(\frac{-hA}{\rho C V} t\right)$$

$$Q_{rad} = \varepsilon \sigma A (T_w^4 - T_\infty^4)$$

$$\frac{T_f - T_\infty}{T_i - T_\infty} = \exp\left(\frac{-hA}{\rho C V} t\right), \quad \frac{\pi d_o L}{} \quad @ \frac{T_w + 100}{2}$$

T_i	$T_f = T_w$	h	t
800	750	$h_r = \frac{\sigma \varepsilon (T_w^F - T_{sat}^F)}{T_w - T_{sat}}$	✓
750	700	$h_r =$	✓
700	650	$h_b = 0.42 \cdots (9-41)$	✓
	$(T_w)_②$	(9-33)	✓

$(Q_{rad})_1 = \varepsilon \sigma A (T_w^4 - T_\infty^4)$

if $(Q_{rad})_2 < 0.1 (Q_{rad})_1 \Rightarrow$ ⑩ ok

$\left(\frac{q}{A}\right) = 0.7 \left(\frac{q}{A}\right)_{Max}$ (q=3+) ← تا حالا

(9-33) → $(T_w)_②$ = ✓

Subject Date :

اولین
دپارتمان تخصصی و جامع مهندسی شیمی
نگاره
تخصصی ترین مرکز دوره های آمادگی
کنکور کارشناسی ارشد و دکتری مهندسی شیمی
"به خانه مهندسی شیمی خوش آمدید"
((مؤسسه آموزش عالی آزاد نگاره))

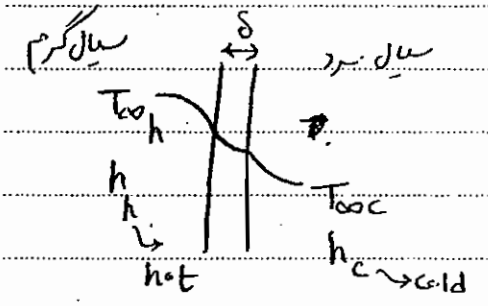
Chapter 10 – Heat Exchanger:

* مبدل های حرارتی به ۲ دسته کلی تقسیم می شوند:
1) unFire
2) Fire

1) unFire : سیال گرم ما شعله نیست مثلاً بخار داغ است.
2) Fire : سیال گرم ما شعله است (مثلاً آتش است) :D

ما مبدل های unFire (غیر آتشین) را بررسی می کنیم که به لحاظ شکل ظاهری بسیار متنوع اند ولی اساس کارهری آن ها یکسان است:
گرمتر گرما از سیال گرم و دادن آن به سیال سرد.

در Fire بحث تشعشع مطرح می شود ولی در unFire مطرح نمی شود.
ضریب کلی انتقال حرارت (U)

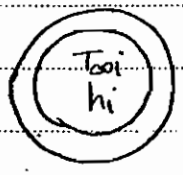


$$\begin{cases} q = UA\,(T_{\infty h} - T_{\infty c}) \\ \frac{1}{U} = \frac{1}{h_h} + \frac{\delta}{k} + \frac{1}{h_c} \end{cases}$$

$\frac{1}{h_h} + \frac{\delta}{k} + \frac{1}{h_c}$ ← ضریب کلی انتقال حرارت برای دیوار مسطح

مبدل های صفحه ای دربست طبق این معادله عمل می کنند.
اما عمده ی مبدل ها لوله ای یا جدیدی استوانه ای هستند:

مبدل های استوانه ای:



$$\begin{cases} q = U_o A_o (T_{\infty i} - T_{\infty o}) = U_i A_i (T_{\infty i} - T_{\infty c}) \\ \frac{1}{U_o} = \frac{1}{h_o} + \frac{d_o \ln d_o/d_i}{2 k_w} + \frac{d_o}{d_i}\frac{1}{h_i} \end{cases}$$

← برمبنای سطح خارجی
← برمبنای سطح داخلی
← برمبنای خارجی متعادل تر است.

Subject:
Year. Month. Date. ( )

مهم‌ترین پارامتر در طراحی مبدل‌های حرارتی U است.

اینکه U به چه پارامترهایی بستگی دارد و چگونه می‌توان U را زیاد کنیم تا: ① انتقال حرارت زیاد شود. ② مبدل حرارتی سبک‌تر و ارزان‌تر است.

p.528 ←

در جدول (1-10) U برای ۲۰ حالت مختلف داده شده است.

? مبدلی که دوسمت آن هوا باشد، U کم است. مبدلی که دوسمت آن آب باشد، U زیاد است.

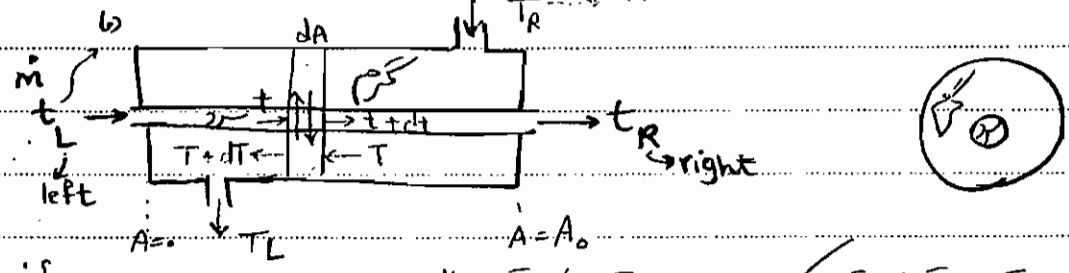
واقعیت این است که U معلوم نیست و وظیفه‌ی طراح بدست آوردن U است.

Double Pipe Heat Exchanger:

دولوله‌ای هم‌مرکز داریم. این ساده‌ترین مبدل حرارتی ممکن است.
البته کاربرد آن در صنعت محدود است.

طراحی مبدل حرارتی دنبال چه هستیم؟

مثلاً دوتا سیال آب و روغن داریم. می‌خواهیم روغن را توسط آب از ۱۲۰° تا ۸۰° خنک کنیم.
مبدلی که این کار را انجام دهد و $1\ \frac{KG}{S}$ روغن را از ۱۲۰ به ۸۰ برساند، به مقدار $q=\dot{m}C_p\Delta T$ حرارت را منتقل می‌کند. حال هدف بدست آوردن سطحی است که این میزان انتقال حرارت را انجام دهد. (سطح = ؟)



? راندمان در حالتی بالاتر است که سیال از سمت راست وارد بشود و از سمت چپ و پائین خارج شود. (غیرهم‌سو)

Subject:
Year. Month. Date. ( )

می خواهیم مدل ریاضی را بنویسیم که نیاز به یک سری فرضیات دارد.

۱) خواص فیزیکی ثابت باشد
۲) شرایط S.S است (hها با زمان تغییر نکند)
۳) مدل ما آدیاباتیک است (حرارتی که سیال گرم از دست می‌دهد عیناً به سیال سردی می‌رسد و اتلاف حرارتی به محیط نداریم)
← مدل‌های حرارتی عایق شده‌اند.

نسبت به سیال سردی سنجیم:
در المان صفحه تیل، یک سیال گرما از دست می‌دهد و سیال گرما به دست می‌آورد و گرما دور تا دور المان می‌چرخد:

سیال سرد $dQ = \dot{m} c_p dt$
سیال گرم $dQ = \dot{M} c_p dT$ } =
مدل $dQ = U_0 dA (T - t)$

← داخل سیال سرد h_i و خارج آن h_o داریم

مرزها: $A = 0$ $\begin{cases} t = t_L \\ T = T_L \end{cases}$ $A = A_0$ $\begin{cases} t = t_R \\ T = T_R \end{cases}$

چون S.S است، خواص فیزیکی ثابت است (hها ثابت است) $\Leftarrow$ U ثابتی دارد.

$U = f(h_i, h_o)$ ، $h_i, h_o = f(U_\infty, \rho r)$
سرعت

مدل حرارتی دولوله‌ای: $Q = U_0 A_0 \Delta T_{lm}$

ΔT_{lm} = Log Mean Temp Diff: اختلاف دمای متوسط لگاریتمی

$$\Delta T_{lm} = \frac{(\Delta\theta)_L - (\Delta\theta)_R}{\ln \frac{(\Delta\theta)_L}{(\Delta\theta)_R}}$$

$(\Delta\theta)_L$ = اختلاف دما در سمت چپ $(\Delta\theta)_R$ = اختلاف دما در سمت راست

Subject:
Year. Month. Date. ( )

مثال) آب با شدت جریان $20\ kg/s$ باید از $340^\circ K$ به $360^\circ K$ گرم شود. آب گرم‌کن با بخار داغ $25\ kg/s$ و ورودی $300^\circ K$ برای این کار استفاده می‌شود. به فرض اینکه ضریب کلی انتقال حرارت $2000\ \frac{W}{m^2 C}$ ثابت باشد، سطح تماس لازم برای مبدل دولوله‌ای: الف) همسو ب) غیرهمسو را بدست آورید.

$$C_{pw} = 4180\ \frac{J}{kg^\circ C}$$

حل) در هر دو حالت مقدار Q ثابت است.

$$Q_{hot} = Q_{Cold}$$

$$20\ C_{p_w}(360-340) = 25\ C_{p_w}(t_2 - 300) \Rightarrow t_2 = 316^\circ K$$

C_{p_w} water

برای هر دو حالت دمای خروجی هم مساوی است.

همسو:

360 → 340

316 ← 300

غیرهمسو:

360 → 340

300 → 316

$$\Delta T_{lm} = \frac{44-40}{\ln\frac{44}{40}} = 41{,}97 \qquad \Delta T_{lm} = \frac{60-24}{\ln\frac{60}{24}} = 39{,}29$$

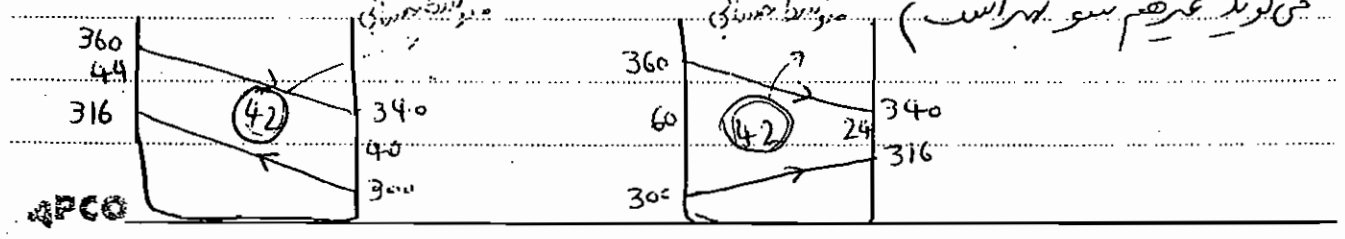
در حالت غیرهمسو اختلاف دمای متوسط بیشتر است. Q و U مساوی است پس در حالت غیرهمسو مساحت کمتر است.

غیرهمسو: $A_o = 19{,}92\ m^2$ همسو: $A_o = 21{,}27\ m^2$ $A = \frac{59\,200}{2000 \times 39{,}29}$

$A = 7{,}48$ متر مربع

* به طور کلی در صنعت سعی می‌شود تا جایی که ممکن باشد مبدل‌ها (جریان) به صورت غیرهمسو باشند.

البته گاهی به لحاظ مزایای هم‌سو ضروری است (مثلاً انتقال حرارت جوانه‌زنی می‌گوید غیرهمسو بهتر است)



Subject:
Year. Month. Date. ( )

در سوازی و غیرهم سو متوسط حسابی به متوسط لگاریتمی نزدیک تر است. ⇐ اختلاف دمای ورودی و خروجی یکسان است.

* * *

چرا در صنعت مبدل دولوله ای کم استفاده می شود؟

$A = \pi d_o L$

if $d_o = 2.75\ cm$ (استاندارد) $\xrightarrow{A_o = 20\ m^2}$ $L = \frac{20}{0.025\pi} \simeq 140\ m$

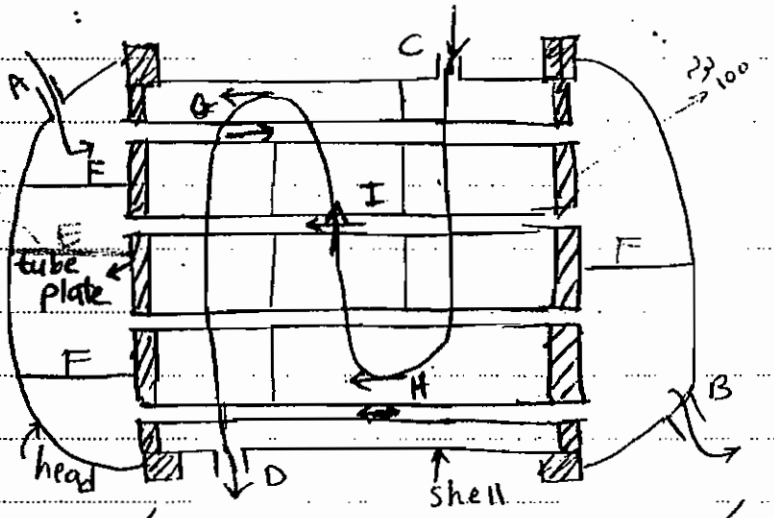
ما میلی با این طول را نمی توانیم در صنعت داشته باشیم. البته می توان میدانی به طول مشخص یک زانویی ایجاد کرد و مبدل دولوله ای را به صورت مارپیچی بسازند اما هزینه زیادی دارد کلی افت فشار را سنگین مبدل های دولوله ای برای $A_o < 10m^2$ استفاده می شوند.

اگر مبدل دولوله ای قابل استفاده نیست، پس چه چیزی قابل استفاده است؟

Shell & Tube Heat Exchangers

این مبدل متداول ترین مبدل مورد استفاده در صنعت است. (به دلایل مختلف)
چون در دماها و فشارهای بالا قابل استفاده است. تحقیق های زیادی روی این نوع شده و روشهای طراحی آن استاندارد شده و اطلاعات موجود در موردش زیاد است.
نسبتاً فضای کمی را اشغال می کند.

پوسته ای داریم که درونش ۱۰۰۰ تا لوله است و سیال ورودی به جای ورود به یک لوله وارد ۱۰۰۰ تا لوله می شود ⇐ سطح انتقال حرارت افزایش می یابد.



Tube Sheet صفحه‌ای گردی است که لوله‌ها را از آن عبور داده و جوش می‌کند plate
بین ارتباط فضای بین لوله‌ها و بیرون لوله‌ها قطع می‌شود.
جلسش را داخل یک پوسته قرار می‌دهند. پوسته دوتا نازل دارد که با دوتا کله به هم پیچ و مهره می‌شود.

(I)
سیال ۷ از نقطه‌ی A وارد می‌شود و عمدتاً سر راه جوش 400 تا لوله می‌بیند و از B خارج می‌شود (طول راکم و قطر را زیاد کرده‌ایم)
مدل: 1-1 لوله پوسته S+T
سیال (II) از C وارد و از D خارج می‌شود.

یک سوکدل از سیال (I) یا (II) کل مسیر ۷ مدل را قطع یک بار طی می‌کند.
مزیت: طول راکم کرد ولی تعداد لوله‌ها را زیاد کرد.
حالا زیاد شدن تعداد لوله‌ها چه ضرری دارد؟
دبی در داخل هر لوله پایین می‌آید ⇐ h کم می‌شود. (سرعت کم شده ⇐ Re کم شده ⇐ h کم شده)

نقطه‌ی B را می‌بندیم و در نقطه‌ی E یک تیغه را جوش می‌دهیم. حالا سیالی که از A وارد می‌شود فقط 200 تا لوله می‌بیند چون راه خروج ندارد دوباره از مسیر پایین برمی‌گردد.
مدل: 1-2 لوله پوسته S+T

Subject:
Year. Month. Date. ( )

مزیت: دبی زیادتر ⇐ h زیادتر

ضرر: افت فشار زیادتر (چون باید دور بزند)

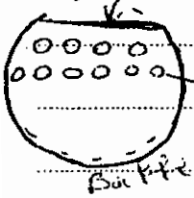
وارد ۱۰۰ تا لوله می‌شود

حال E را برداشته و در نقاط F هم یک تیغه‌ای گذاریم. سیال از A وارد می‌شود و سه بار جهت می‌زند

لوله بوسته

مثال: 1-4 S+T

(?) روی بوسته چه تغییری دهیم؟



تیغه‌هایی بصورت عمودی به شکل صفحه مثل مراد هم. شکل تیغه‌ها:

این باعث افزایش سرعت سیال می‌شود. چون فضا در دبی ثابت کم شده.

چگونه می‌توان سرعت سیال طرف بوسته را زیاد کرد؟

$u\uparrow \Rightarrow Re\uparrow \Rightarrow h\uparrow$

تعداد Baffle ها را بیشتر کرد.

افت فشار هم افزایش می‌یابد:

فضا ↑ سرعت ↓

فضا ↓ سرعت ↑

لوله بوسته

مثال: S+T : 1-4 هم‌چنان

سیال داخل بوسته درست برون لوله چه وضعیتی دارد؟

گاه موازی و غیر هم سو هستند (مثل نقطه‌ی G) - گاه موازی و هم سو هستند (مثل نقطه‌ی H) - گاه متقاطع [عمود بر هم] هستند (مثل نقطه‌ی I)

من با وجود ایده‌آل دوله‌ای خارج شده‌ام و خاصه گرفته‌ام پس چه کار کنم؟

$$Q = U_o A_o F \Delta T_{lm}$$

↳ F = Temprature correction factor

شکل 8 - 9 - 10 - 11 برای ۴ تا مثال است. حاصل کار تئوری است.

Subject:
Year. Month. Date. ( )

n زوج است ← $n = 2-4-6-8-\cdots$

سئوال 8: پوسته و لوله . $1-n$. $S+T$

سئوال 7: ۶۸ کیلوگرم بر دقیقه آب از ۳۵°C به ۷۵°C گرم می‌شود. سیال گرم روغن با ورودی ۱۱۰ و خروجی 75 است. سطح انتقال حرارت را برای هریک از دو حالت زیر به فرض اینکه برای هر دو حالت U برابر $320 \frac{W}{m^2 C}$ بدست آمده. گرمای ویژه روغن $1900 \frac{J}{kg C}$ است.

الف) مبدل دولوله‌ای غیرهم‌سو ب) مبدل پوسته و لوله‌ای 2-1 با آب در سمت پوسته؟

حل) $Q = \frac{68}{60}(75-35) \times 4180 = 189149 \ kw$ → برای آب

آب 35 → 75
روغن 75 ← 110

$$\Delta T_{lm} = \frac{40-35}{\ln \frac{40}{35}} = 37/44^\circ C$$

Double Pipe: $A_o = \frac{Q}{U_o \Delta T_{lm}} = \frac{189/49 \times 10^3}{320 \times 37/44} = 15/8 \ m^2$

Shell + tube 1-2

Fig 10-8: $t_1 = 110^\circ C \quad t_2 = 75^\circ C$ دمای سیال سمت لوله : t

$T_1 = 35^\circ C \quad T_2 = 75^\circ C$ دمای سیال سمت پوسته : T (*)

$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} = 0/467$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = 1/143$$

} → $F = 0/81$

$$A_o = \frac{Q}{U_o F T_{lm}} = 19/53 \ m^2$$ → نسبت به حالت قبل 20٪ افزایش سطح داشتیم ولی به هر حال بهتر است.

PCO

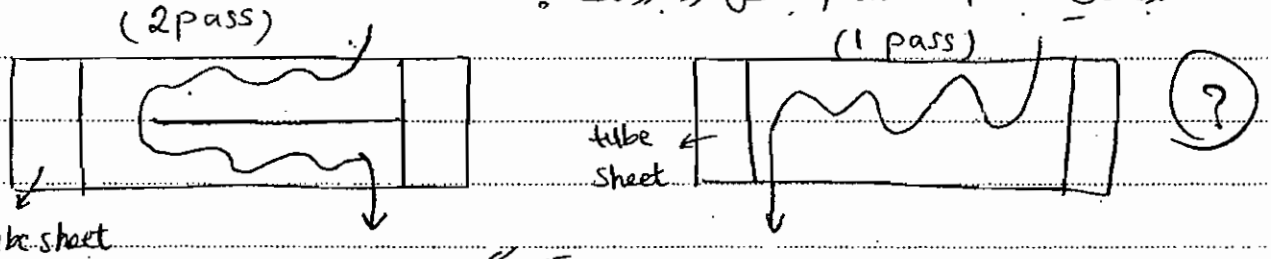
Subject:
Year. Month. Date. ( )

جلسه ی ۱۴ ، ۱۲ ، ۸۷

شکل (۹-۱۰) مربوط به 2-4 و 2-8 است

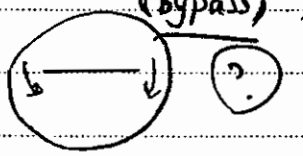
دریوسته

مبدل‌هایی با ۲ تا ۷ pass بشکل روبرو است:



داخل لوله نخواسته ایم ⇐ 2pass از سمت پوسته

اساساً ما دوست نداریم مبدل با pass در سمت پوسته داشته باشیم (سمت لوله ترجیح است) علت این است که: شعاع باز آزاد باشد ⇐ یک مقداری سیال از لوله‌ها پایین می‌ریزد و کل طول مسیر مبدل را طی نمی‌کند و بیرون انتقال حرارت به بیرون می‌ریزد



اما گاهی مجبوریم. چه زمانی مجبوریم؟

با راه‌حلی داریم بصورت T_2 خروجی گرم − t_2 خروجی سرد که می‌تواند سه حالت داشته باشد (⊕، ⊖، صفر)

if ⊕: T_2 خروجی گرم > t_2 خروجی سرد یا if ۰: T_2 گرم = t_2 سرد ⇒ 1 pass فقط

if ⊖: T_2 خروجی گرم < t_2 خروجی سرد ⇒ در این حالت مجبوریم 2pass در سمت پوسته داشته باشیم.

حال جرا؟

۴۰ → 60 ; $T_2 - t_2 = +20$ 40 → 60

80 ← 120 ; $T_2 - t_2 = 0$ 60 ← 120

40 → 60

50 ← 120 ; $T_2 - t_2 = -10$

Subject:
Year. Month. Date. ( )

$T_2 - t_2 > 0$ temperature approach

$T_2 - t_2 = 0$ temperature Meet

$T_2 - t_2 < 0$ temperature cross ⇒ عبور کردن ⇒ اجازه نمی‌دهد 2pass

اگر $T_2 - t_2 < 0$ و 1pass استفاده شود چه می‌شود؟ مثلاً $F = 1$ یا $F = 0.9$ می‌شود بهتر است
(F بسیار بسیار کوچک می‌شود) ⇐ A خیلی خیلی بزرگ می‌شود این اصلاً خوب نیست.

(H.W؟) برای همین حالت، F های هر سه حالت بالا بدست آورید. $\underbrace{1-n}_{\text{شکل 8}}$ ، $\underbrace{2-n}_{\text{شکل 9}}$

bypass خیلی بد است. برای جبران آن باید ۲ مبدل روی هم بسازید و این کار هزینه بر است ولی گاهی اجتناب ناپذیر است.

دو تا شکل بعدی را بررسی می‌کنیم:
جریان متقاطع چیست؟ مثل رادیاتور ماشین. رادیاتور ماشین تعدادی لوله‌های افقی (بالا به پایین) دارد و هوا افقی است ⇐ آب و هوا متقاطع هستند.
⇐ مبدل‌های متقاطع
رادیاتور ماشین و فن کویل از نمونه‌های مبدل‌های متقاطع می‌باشند.

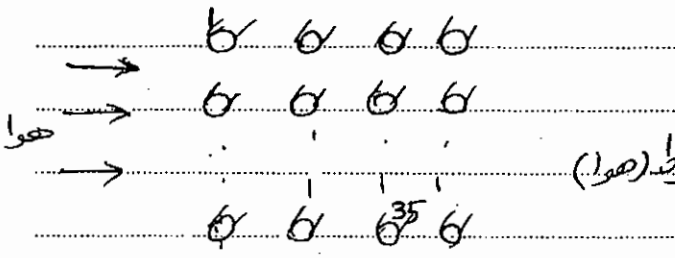
متقاطع ⇐ هر دو سیال نامخلوط
یکی مخلوط و یکی نامخلوط

رادیاتور ماشین مثلاً ۱۰۰ تا لوله است که آب بین ۱۰۰ تا لوله تقسیم می‌شود.

APCO

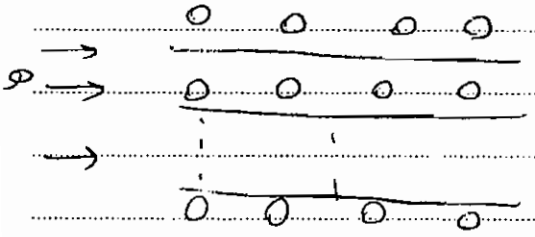
Subject:
Year. Month. Date. ( )

آبی که پایین رفته در لوله‌های مختلف هیچ اطلاعی از هم ندارند. مثلاً آب لوله‌ی اول هیچ اطلاعی از آب لوله‌ی 35 ندارد.



اما هوا سیال مخلوط است.
⇐ بدل متقاطع است. یک سیال مخلوط (هوا) و یک سیال نامخلوط (آب) است.

حالا اگر یک سری تیغه قرار بدهیم، هوای ورودی به کانال یک امکان اختلاط با هوای کانال 5 را ندارد ⇐ هر دو سیال نامخلوط.



Fouling (رسوب‌گذاری)

Fouling یک پدیده‌ی بسیار هزینه‌ساز در تمامی صنایع شاغل بدل است. از جهات مختلف هزینه‌ساز می‌کند.

① باید اقداماتی صورت گیرد که Fouling به حداقل برسد و این اقدامی مستلزم صرف هزینه است.

② هرکاری کنیم بازهم جلوی این پدیده را نمی‌توان از 100٪ گرفت ⇐ باید ابتدا در زمان طراحی در فرمول $Q = U_0 A_0 F \Delta T$، باید مساحت را از حد تئوری بیشتر گرفت و این کار هزینه‌بر است.

③ بازهم حداقل سالی یک بار باید بدل را باز و تمیز کرد ⇐ این کار یعنی باید خط را از تولید به مدت چند روز خارج کرد. (تعطیل کرد) [علاوه بر هزینه‌ی کارگر و تمیزکردن]

Subject:
Year. Month. Date. ( )

چرا Fouling اتفاق می‌افتد؟

۱) precipitation (رسوب): در خیلی از واحدها از آب دریا ورودخانه برای خنک‌کاری استفاده می‌کنند. در آب دریا املاح متعددی وجود دارد.
می‌دانیم که برخی نمک‌ها با افزایش دما حلالیتشان کم می‌شود. یعنی آب دریا که گرم شد نمک‌ها رسوب می‌کنند. (مربوط برای خنک‌کردن)
چه کار کنیم این اتفاق نیفتد؟
باید از تصفیه کننده‌ها استفاده کرد (مثل تبادل‌گرهای یونی) که خیلی خیلی گران و غیرممکن است ← بهترین راه‌حل خوبی نیست.
بهترین راه: مثلاً بالای 50° رسوب می‌کند ولی زیر 50° رسوب نمی‌کند. می‌دانیم که $Q=\dot{m}c\Delta T$ است. حتی ΔT به جای 15°، 10° شد، پس باید $\dot{m}$ زیاد شود یعنی باید مساحت را زیاد کنیم. ابعاد همه‌چی بزرگ می‌شود و این کار هزینه‌بر است.

۲) particulate (ذرات معلق): باز هم آب دریا و رودخانه و چاه ذرات معلق دارد و وقتی وارد مبدل می‌شوند، در جاهایی که سرعت کم است، ته‌نشین می‌شوند. قبل از ورود به مبدل چه کنیم؟
صافی بگذاریم ← هزینه ↑ می‌رود و هم‌چنین افت فشار ↑ می‌رود ← پمپ بزرگ‌تر می‌خواهیم و باز هم هزینه ↑ می‌رود.

۳) Chemical Reaction: مبدل‌های Fire و Un Fire داشتیم.
خوراک هیدروکربنی که از داخل لوله رد می‌شود، شعاعی از آن به ذغال تبدیل می‌شود (cracking). سطح لوله‌ها لایه‌ای از ذغال می‌گیرد. ذغال (coke) ضریب رسانش بسیار کمی دارد و مانند عایق رفتار می‌کند. حرارت تولیدی در داخل لوله به جداره‌ی لوله نمی‌رسد (به علت وجود عایق) ← دمای سطح لوله خیلی بالا می‌رود و حتی ممکن است لوله را ذوب کند.

Subject:
Year. Month. Date. ( )

حالا چه کنیم ؟ اگر طراحی می‌کنیم مثلاً 5 تا کوره می‌خواهد ما باید 6 تا بسازیم . یعنی یکی همواره در حال خنک زدایی است (decoking) و صورت نوبتی و چرخشی این کار را انجام می‌دهند ⇐ تقریباً 20٪ به هزینه‌ها اضافه شد.

۴) Corrosion (خوردگی) : در اثر واکنش‌های شیمیایی ، لایه‌ای از فلز آهن به اکسید آهن تبدیل می‌شود . آهن خالص مقاومت بیشتری از اکسید آهن دارد یعنی مقاومت رسانشی زیادی شده است و از طرفی ضخامت لوله‌ی آهن هم کمتر شده است.

چه کار کنیم ؟

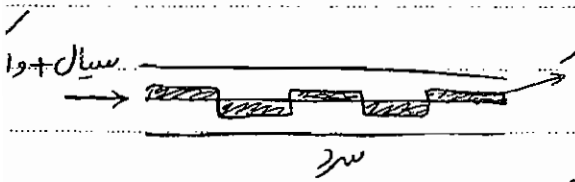
جنس لوله - به جای کربن استیل باید از stainless steel (فولاد ضدزنگ) با قیمت چند برابر استفاده کنیم

۵) Biological : در بسیاری از جریان‌ها و دارهای سیستم آب (یعنی Q را از مدل می‌گیرد و وارد cooling tower شده و دوباره به مدل می‌رود) ، در داخل برج خنک کن عامل به جنگ ستون وجود دارد . وقتی وارد مدل می‌شود ، داخل مدل به علت گرما کلی جلبک رشد می‌کند . (:D)

حالا چه کنیم ؟ مواد شیمیایی خاص به نام Biocide وارد می‌کنند که وظیفه‌ی کشتار جلبک‌ها را بر عهده دارند . (مثل Nalco)
کشتن

۶) Freezing : در شرایط خاص پیش می‌آید . مثلاً در پالایشگاه تهران می‌خواهیم برش‌های نفتی را سرد کنیم . درون برش ، واکس یا موم وجود دارد که در اثر سرد شدن کریستالیزه شده و روی سطح لوله می‌چسبد ⇐ مقاومتی به انتقال حرارت اضافه می‌شود.

راه حل :



یک Shaft با چند پارو روی آن درون لوله حرکت می‌دهند یا چرخیان Shaft ، موم‌ها و واکس‌ها از حرارت‌ی لوله جدا می‌شوند.

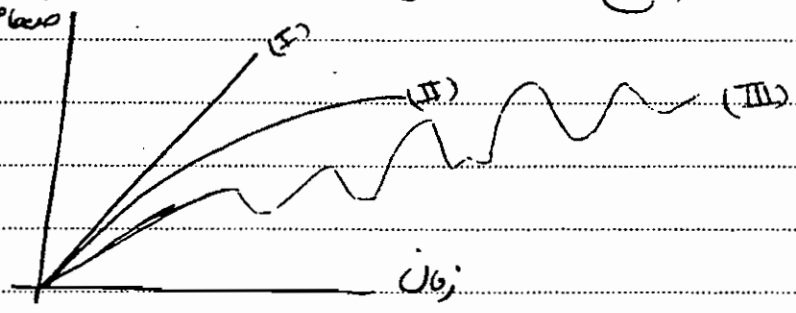
Subject:
Year. Month. Date. ( )

روغن موتور باید خاصیت صمغ (واکس) باشد.

رشد لایه‌ی رسوب با زمان چگونه است؟

می‌تواند خطی باشد (ولی معمولاً اتفاق نمی‌افتد) معمولاً اول آهسته یافته و بعد به یک حالت خطی می‌رسد.

ممکن است با زمان نوسان کند (یعنی هی جمع می‌شود و یه‌دفعه تکه از آن کنده می‌شود)



چیزی که در طراحی مبدل به عنوان ضخامت در نظر می‌گیریم حالت (II) است.

از این ایده استفاده می‌شود تا مبدل را طوری طراحی کنیم که وقتی رسوب کرفت تازه به حالتی می‌رسد که می‌خواهیم بصورت عادی عمل کند.

پارامتری به نام R_f داریم: R_f = Fouling Rasistance (مقاومت رسوب)

R_f پارامتری است که فقط وفقط وفقط از طریق آزمایش بدست می‌آید ← جدول ۲-۱۰

R_f برای 50° از زیر 50° بیشتر است.

$$\frac{1}{U_{dirty}} = \frac{1}{U_{clean}} + R_{f_i} + R_{f_o}$$

U_{clean} : ضریب کلی انتقال حرارت در شرایطی که لوله کاملاً تمیز است.

R_{f_i} : مقاومت رسوب داخلی

R_{f_o} : مقاومت رسوب خارجی

Subject:
Year. Month. Date. ( )

$U_{dirty} < U_{clean}$ ؟

$Q = U_o A_o F \Delta T_{lm} \longrightarrow U_o = U_{dirty}$ ← مدل رایگرلتر از تئوری طراحی می‌نیم

لے روز اول عدل بهتر از آنچه ما انتظار داریم عمل می‌کند. ولی چه نایده! :(

رسوب گیری ⇐ $Q \downarrow$ ⇐ A بزرگتر انتخاب کردیم.

آیا رسوب گیری روی افت فشار تأثیر گذار است؟

$\Delta p \propto d_i^{-5}$

$\hookrightarrow \Delta p = f \frac{l}{d_i} \frac{\rho u^2}{2}$ $\left(u = \frac{\dot{m}}{\rho A} \Rightarrow u \propto \frac{1}{d_i^2}\right)$

فرض کنیم لوله‌ای داریم که به علت رسوب گیری از d_i به $(1/1)^5$ تغییرش رسوب گرفتن است. افت فشار حدود 53٪ افت فشار زیاد می‌شود ⇐ هدرعب باید 50٪ از حالت تئوری بیشتر باشد. $[h_{واقعی} = 1/5\, h_{تئوری}]$

head pump

* روش‌های تمیزکاری مبدل‌ها:

1) On line : یعنی بدون اینکه واحد را تعطیل کنیم و دستگاه را باز کنیم تمیز کنیم.
2) Offline

برای هر دو حالت بالا روشهای شیمیایی و مکانیکی وجود دارد.

در شیمیایی اسید سیتریک می‌ریزیم ← داخل لوله گلوله‌های اسفنجی می‌ریزند. گلوله‌ها به دیواره ضربه می‌زنند و ذره ذره رسوب جدا می‌شود ← مکانیکی:

روش جت آب هم استفاده می‌کنند.

داخل نفت مقداری کریستال‌های نمک است که داخل مبدل‌ها رسوب می‌کند. هرچند وقت یک بار حدود ۶٪ آب همراه نفت می‌فرستند، کریستال‌ها حل می‌شوند و وارد فرآیند دوغابزی می‌شوند.

Subject:
Year. Month. Date. ( )

و آب وارد لوله شوند.

مثال) مبدل پوسته و لوله‌ای ۲-۱ برای گرم کردن $7/5 \frac{kg}{s}$ آب از $85^\circ C$ به $99^\circ C$ توسط گاز داغ بخار آب اشباع در فشار $345 \frac{kN}{m^2}$ در قسمت پوسته به کار گرفته می‌شود. معمولاً ۶۰ لوله به قطر خارجی $2/5\ cm$ استفاده شده است. اگر ضریب کلی انتقال حرارت تمیز برای این مبدل $2800 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ باشد، طول هر لوله را بدست آورید؟ اگر پس از مدتی مبدل رسوب گرفته باشد، با استفاده از جدول (۲-۱) دمای خروجی آب را محاسبه کنید.

حل) فرض می‌کنیم ابتدا استوانه‌ها برمبنای تمیز طراحی صورت گیرد.

از کجا P

$85 \xrightarrow{\text{tube}} 99$ $\quad P_{sat} = 345 \frac{kN}{m^2} \rightarrow T_{sat} = 138^\circ C$

T_{sat} Shell T_{sat}

کل انرژی قابل تبادل

هرچه $\dot{m}$ $\quad Q = \dot{m} C_p \Delta T = 7/5 \times 4180 (99-85) = 438/9\ (kW)$

$$\Delta T_{lm} = \frac{(138-85)-(138-99)}{\ln \frac{138-85}{138-99}} = 45/69^\circ C$$

Sheel & tube: $Q = U_o A F \Delta T_{lm} \rightarrow$

* هرگاه در هر نوع مبدلی تغییر فاز داشته باشیم، $F=1$ است.

(10-8) شکل: $\begin{cases} P = 0/24 \\ R = 0 \end{cases} \Rightarrow F = 1$ مشروط بر آنکه یک طرف دما ثابت باشد.

$U_o = U_{clean} \rightarrow A_o = 3/43\ m^2$

$A_o = \pi d_o L N_t \Rightarrow L = 73\ cm$

فرض کنیم مبدل را ساخته‌ایم، رسوب می‌گیرد. رسوب کرده دمای خروجی آن چه‌قدر می‌خواستیم نمی‌شود:

APCO

←

Subject:
Year. Month. Date. ( )

85 → t_2 ← Tsat ← Tsat

$Q = 775 \times 4180 \times (t_2 - 85)$

$Q = U_{0\,dirty} \; (3/43)(1) \; \frac{(138-85)-(138-t_2)}{\ln \frac{138-85}{138-t_2}}$

$\frac{1}{U_{dirty}} = \frac{1}{2800} + 0/0002 + 0/0004$ (آب / غیره)

$\Rightarrow U_{dirty} = 1345 \; \frac{w}{m^2 °C}$

← دو معادله، دو مجهول ← حل به طریق جدس و خطا ←

$t_2 = 93/4 °C$

$Q = 257 \; kw$

این مبدل نمی ارزدتی کارکردن و کثیف شدن در خودی به جای 99°C ، 93/4°C را می دهد و 257 kw را می دهد و 238 kw را می دهد. ← مبدل تغییر در واحد جواب نمی دهد

اگر ← t_1 t_2 ← 138 138 ← نوع این داده ها مشکل ← t_1 t_2 → t_1 t_2 ← F ... ←

Subject:

Year. Month. Date. ( )

PCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

جلسه‌ی بعد ۸۷/۱۲/۱۷

NTU-ε Method:

در مقابل آن چیزهایی حل دیدیم که برای حل مسائله باید از روش حدس و خطا استفاده کنیم. اگر در آن مسائله به جای بخار آب، مثلاً روغن داغ داشتیم، دمای خروجی روغن داغ هم مجهول می‌شد (یک معادله، یک مجهول)

برای اینکه از حدس و خطایی نیاز نشویم، معادلات را بازنویسی کرده و روش NTU-ε را بوجود آورده‌اند. این روش ما را از حدس و خطایی نیازی کند. این یک روش حل ریاضی است.

فقط هم برای مسائلی کاربرد دارد و مناسب است که دماهای خروجی مجهول باشند.

برای حل این مسائله سه تا پارامتر تعریف می‌شود:

① $C = \text{Capacity Ration} = \frac{(\dot{m}C)_{min}}{(\dot{m}C)_{max}} = \frac{|T_2 - T_1|}{|t_2 - t_1|}$

ما دو تا سیال داریم که هر کدام یک $\dot{m}$ و یک C دارد. هر سیالی که حاصل ضرب آن $\dot{m} \times C$ کمتر بود را $(\dot{m}C)_{min}$ می‌گوییم.

② $NTU = \text{Number of Transfer Units} = N = \frac{U_o A_o}{(\dot{m}C)_{min}} = \frac{|t_2 - t_1|}{F\Delta T_{lm}}$

$U_o A_o$ = مشخصه‌ی مبدل است

③ $\varepsilon = \text{Effectiveness} = \frac{q_{real}}{q_{ideal}}$

ε شبیه راندمان است.

t_1 ← $(\dot{m}C)_{min}$ → t_2

T_2 $(\dot{m}C)_{max}$ T_1 ← بیشتر

حداکثر انتقال حرارت سیال بالایی وقتی است که $T_1 \to t_2$ رود.

حداکثر انتقال حرارت سیال پایینی وقتی است که $T_2 \to t_1$ رود.

می‌دانیم: $\Delta T < \Delta t \rightarrow Q_1 = Q_2 \Rightarrow (\dot{m}C)_{min} \Delta t = (\dot{m}C)_{max} \Delta T$ (↓ ↑ ↑ ↓)

Subject:
Year. Month. Date. ( )

بین $T_1 \to t_2$ و $t_1 \to T_2$ کدام محدل تر است؟ چون تغییرات $t_2 \to T_1$ بیشتر است.

$$\Rightarrow \varepsilon = \frac{q_{real}}{q_{ideal}} = \frac{(\dot{m}c)_{min}(t_2-t_1)}{(\dot{m}c)_{min}(T_1-t_1)} = \frac{t_2-t_1}{T_1-t_1}$$

صفحه ۳۴۴ و صفحه ۳۴۵ کتاب:

ستون جدیدی نشویم که چگونه C و N و ε به هم مربوط می‌شوند.
برای هر نوع مبدل معادله‌ی خاص خودش را داریم.

$\varepsilon = F(N, C)$ جدول ۱۰-۳

$N = g(\varepsilon, C)$ جدول ۱۰-۴

جواب معادله جدول (10-3)، (10-4) نوشته شده است.

چه وقتی $C = 0$ است؟ وقتی که $T_2 = T_1$ است یعنی وقتی جریانش جوششی داریم.

در حالتی که جریانش جوششی داریم نوع مبدل اصلاً مهم نیست.

هر یک از شکل‌های ۱۲ تا ۱۷ برای مبدل‌های مختلف است.

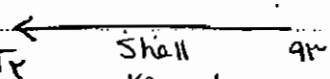
مثال: مبدل پوسته و لوله‌ای ۱-۴، $2.5 \frac{kg}{s}$ آب را در سمت لوله از $25^\circ C$ به $70^\circ C$ گرم می‌کند. سیال گرم آب رادیاتور با دمای $90^\circ C$ و شدت جریان $5 \frac{kg}{s}$ می‌باشد. ضریب کلی انتقال حرارت $1000 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ است. سطح تماس این مبدل را بدست آورید.

با فرض ثابت بودن U و شدت جریان سیال گرم، تغییرات دمای خروجی سیال سرد را به عنوان تابعی از شدت جریان سیال سرد در محدوده‌ی $0.5 - 2.5 \frac{kg}{s}$ بدست آورید.

qPCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

حل) فرض ثابت فرض خوبی نیست و غلط است. h_i و h_o به h_i و h_o بستگی دارد. h_i و h_o به Re بستگی دارد. Re به شدت جریان (سرعت) بستگی دارد.



مرحله‌ی اول:

$Q_1 = ۲/۵ \times ۴۱۸۰ (۷۵ - ۲۵)$

$Q_2 = ۵ \times ۴۱۸۰ (۹۳ - T_2)$

مدل کروناتیک فرض شده است.

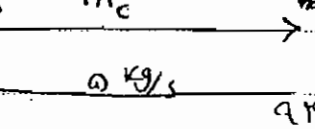
$Q_1 = Q_2 \quad \begin{cases} T_2 = ۷۰/۵^\circ C \\ Q = ۴۷۵/۲ \text{ kw} \end{cases}$

$\Delta T_{lm} = \dfrac{(۷۰/۵ - ۲۵) - (۹۳ - ۷۵)}{\ln \frac{۷۰/۵ - ۲۵}{۹۳ - ۷۵}} = ۳۲/۹۸^\circ C$

$P = \dfrac{۷۵ - ۲۵}{۹۳ - ۲۵} = ۰/۴۴۲ \qquad R = \dfrac{۹۳ - ۷۰۵}{۷۵ - ۲۵} = ۵/۵$

$\Rightarrow \boxed{F = ۰/۸}$

$Q = U_o A_o F \Delta T_{lm} \Rightarrow \boxed{A_o = ۲۲/۲۸ \, m^2}$



مرحله‌ی دوم:

بدون استفاده از روش ε-NTU:

$Q_1 = \dot{m}_c \times ۴۱۸۰ (t_2 - ۲۵)$

$Q_2 = ۵ \times ۴۱۸۰ (۹۳ - T_2)$

$Q_3 = ۸۵۰ \times ۲۲/۲۸ F \dfrac{(T_2 - ۲۵) - (۹۳ - t_2)}{\ln \frac{T_2 - ۲۵}{۹۳ - t_2}}$

مجهولات: Q ، t_2 ، T_2

حل: حدس t_2 ← Q_1 ← T_2 ✓

$Q_2 = Q_1$

فرض: $\dot{m} = ۱/۵$

آخرین

$Q_1 = Q_2 = Q_3$ { Q_3 ✓ ← F ✓

Subject:

Year. Month. Date. ( )

$\dot{m}$	۰/۵	۱	۱/۵	۲	۲/۵
t_2					

جدول ۱۰-۳
شکل ۱۰-۱۴

روش ε-NTU

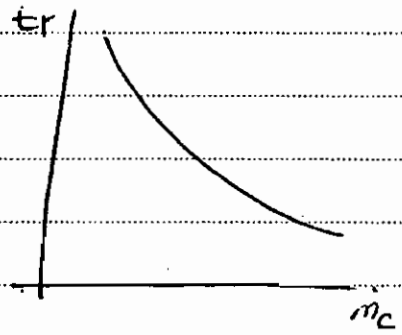
$\varepsilon = \frac{\dot{m}}{5}$ $\quad N = \frac{UA}{(\dot{m}C)_{min}} = \frac{800 \times 22/28}{\dot{m} \times 4180}$

$\dot{m}_c$	C	N	ε	t_2	Q	T_2
۰/۵	۰/۱	8/52	۰/۹۵	۸۹/۶		
۱	۰/۲	4/26	۰/۹	۸۶/۲		
۱/۵	۰/۳	2/84	۰/۸۲	۸۰/۸		
۲	۰/۴	2/13	۰/۷۱	۷۳/۳		
۲/۵	۰/۵	1/7	۰/۶۷	۷۰/۵		

$\dot{m}_c$ ← هردو سیال آب با c_p برابر است بنابراین $\dot{m}$ همارا مقایسه کن

$\varepsilon_5 = \frac{t_2 - 25}{93 - 25}$ ←

$Q = \dot{m}_c \times 4180 (t_2 - 25)$ ←



حالا اگر بصورت زیر بود.

$\dot{m}_c$	۳	۴	۵	۶	۸	۱۰
C			1			

← جای min , Max عوض می‌شود.

Compact Heat Exchangers:

در درس انتقال حرارت ۱ دیدیم هرگاه در یک کاربرد انتقال حرارت سیال ما گاز باشد از سطوح توسعه یافته استفاده می‌نمائیم.

Subject:
Year. Month. Date. ( )

مدل‌های هستند که یک سمت آن‌ها گاز (هوا) است. پس باید در یک سمت آن سطوح توسعه یافته استفاده شود. به این مدل‌ها، مدل‌های فشرده گویند.

$$Q = mc\Delta t = Mc\Delta T$$
هوا — آب

$$Q = U_o A_o F \Delta T_{lm}$$

← هر دو سیال نامحلوط

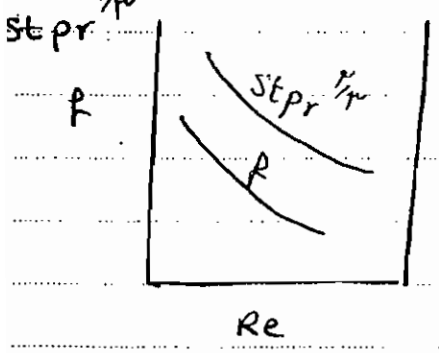
$$\frac{1}{U_{oclean}} = \frac{1}{h_o} + R_{cond} + \frac{1}{h_i}$$
h_o ← هوا — h_i ← آب

می‌توانیم با دقت بسیار خوب از R_{cond} صرف نظر کنیم. چرا؟
ضخامت لوله بسیار کم است و از جنس آلومینیوم با $k=200$ است. یعنی R_{cond} خیلی کم است.

h_o آب $\simeq 1500 - 4000$
h_i هوا $\simeq 10 - 20$

$$U_o \simeq h_{o\,air}$$

$h_{o\,air}$ را چگونه بدست بیاوریم؟
h_o برای هر هندسه باید به طریق تجربی بدست بیاید. ۲ تا نمونه در کتاب داریم:
شکل شماره‌ی ۱۹ و شکل شماره‌ی ۲۰.



پس اگر سرعت هوا را داشته باشیم، Re بدست می‌آید.

$Re \rightarrow St \rightarrow h_o \checkmark \rightarrow U_o \checkmark$

f ضریب اصطکاک است و به ما افت فشار را می‌دهد.

$$St = \frac{Nu}{Re \cdot Pr}$$

Subject:

Year Month Date ( )

سبت 8-10 :

تا الآن خواص فیزیکی را ثابت فرض کرده‌ایم.

در این بخش این فرض را لغو کرده است.

Subject:
Year. Month. Date. ( )

شروع جلسه ی اول کلاس استاد ارشد درس می پرسه!
خوش گذشت!

جلسه ی دهم ۸۷/۱۲/۲۱
حتما از تمارین آخر فصل ۱۵ حل شود.

طراحی مبدل حرارتی:

تا حال داده ی مسأله بود - آشنا شدیم به اینکه مساحت چند m^2 است ولی تعداد لوله ها یا ضربات نشده - چیزهایی که با نحوه ی انتقال حرارت برای شروع آشنا شدیم و گفته شد.

دو نوع مبدل حرارتی داشتیم: 1) Fire 2) UnFire

انواع مبدل های Fire (آشنا):

- Double Pipe
- Shell + Tube
- Multiple pipe
- Plate + Frame
- Spiral
- Air cooled
- Lamella
- Graphite

روش محاسبه و طراحی برای همه ی اینها یکسان است. یکه تفاوت اینها را هم متذکر می شدیم، فرق ها و ملاحظاتی است که استفاده می شود.

• Double Pipe که تقریبا گفته شده است.

• Multiple Pipe:

در این حالت چند لوله داخل هم است (حداکثر ۷ تا).

مراحل طراحی مبدل های حرارتی چیست؟

1) $Q = (mC_p\Delta t)_{cold} = (MC_p\Delta T)_{hot}$

2) $Q = UAF\Delta T_{lm}$: معمولا استفاده از این فرمول چه وضعی دارد؟

برحسب حالت ایده آل حساب می شود یعنی دو لوله ای غیر هم سو.

F با توجه به نوع مبدل تعیین می شود.

Q هم از مرحله ی (1) بدست می آید.

U و A مشخص نیست و خود روی هم تاثیر می گذارند.

PAPCO

Subject:

Year. Month. Date. ( )

۳) U را حدس بزن. سپس از اینجا A بدست می‌آید. این A مساحت کل است

در حالت Shell + tube : $A_{کل} = (\pi d_o L) N_t$

سطح جانبی یک لوله : d_o را باید انتخاب کنیم.

$\Leftarrow$ A را باید توزیع کنیم $\Leftarrow$ خروجی‌های هندسی مدل (d_o و ... N_t و ... گام لوله‌ها و ...) مشخص می‌شود.

۴) اکنون در شرایطی هستیم که با داشتن هندسه می‌توانیم h_i و h_o را بدست آوریم.

$h \rightarrow Nu \rightarrow Re \rightarrow$ سرعت $\rightarrow$ d تقریباً همه را داشتیم

ازروی دبی در سمت لوله‌ها و ... $\dot{m} = \rho u A N_t$ / $\frac{\pi}{4} d_o^2$ می‌توان بدست آورد.

چه دردی خورد؟

۵) ΔP_t و ΔP_s را بدست آورید

افت فشار در لحاف لوله — افت فشار در لحاف پوسته

مقاومت رسانایی لوله

$$\Rightarrow \frac{1}{U_o} = \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_{od}} + \frac{d_o \ln(d_o/d_i)}{2 k_w} + \frac{d_o}{d_i}\left(\frac{1}{h_{id}} + \frac{1}{h_i}\right)$$

۶)

h_{od} dirty — h_{id} dirt

عبارت اول و عبارت آخر محاسبه می‌شود.

چه چیزی محاسبه می‌شود؟

h_{od} و h_{id} : ضرایب رسوب در خارج و داخل لوله.

حالا U_o را با U حدس زده در مرحله‌ی (۳) مقایسه کن. اگر خوب نبود دوباره تکرار می‌کنیم.

ΔP ها به چه دردی خورند؟ ΔP های محاسبه کرده را با ΔP های مجاز مقایسه کن. اگر ΔP هایی که حساب کردیم مطابقت نکرد یعنی انتخاب‌هایی که کردیم غلط بوده است $\Leftarrow$ هندسه‌ای که در آورده‌ایم هندسه خوبی نیست و باید در هندسه تجدید نظر کرد.

پس دو تا مقایسه داشتیم: ۱) مقایسه‌ی Uها ۲) مقایسه‌ی ΔPها

Uها ← حواب ایمال حرارت

ΔPها ← حواب سیالات

افت فشار در حد مجاز است

PAPCO

Subject:

Year. Month. Date. ( )

یک طراحی از نظر فنی جواب واحد ندارد. اما از نظر فنی - اقتصادی جواب واحد وجود دارد.
هرچه قدر سطح مبدل کوچک تر شود، اقتصادی تر است.
طویل و باریک بهتر است.

به طور کلی برود: Fig 1-12

thermal Fluid: سیالی که وظیفی گرم کردن یا سرد کردن را بعهده دارد.
process fluid: سیالی که می خواهیم گرم یا سرد کنیم.

بین با مشخص کردن process fluid , service fluid هرجا که نیاز را مشخص کرده
حدس اولیه است:

مثلاً والکس را می خواهیم با بخار آب در مبدل گوسته گرم کنیم:

والکس
steam condensing $\bar{u} \simeq 4500 \longrightarrow \bar{u} \simeq 750$ والکس $\simeq 900$ برای این

مثلاً می خواهیم پارامتر داوری تعیین کنیم (والکس پارامتر ۱ H_2SO_4) برای این کار ابتدا
پارامتر باید گرم شود.

این شکل برای خنک کاری مبدل ها قابل استفاده است.

طراحی مبدل پوسته و لوله:

چرا این همه پوسته و لوله متداول است؟ ۱) کل نشارها و دماهای خیلی بالا را دارند. ۲) ساخت ساده ای دارند و با مواد متنوعی می توان آن را ساخت. ۳) تمیز کاری آن خیلی راحت است.
۴) روشهای طراحی آن بسیار متداول و جا افتاده است.

پوسته و لوله انواع مختلف دارد. قدم اول در طراحی این است که از اجزای دستگاه اطلاع داشته باشیم.
اجزای یک مبدل به طور کلی به دو گروه تقسیم می شوند:
۱) آنهایی که کارکرد حرارتی سیالاتی دارند.
۲) ... مکانیکی دارند ← جهت نشت و تأثیری در انتقال حرارت و سیالات ندارد

مهندسین مکانیک جا

PAPCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

شکل 12-1 در این بین : اجزای مبدل حرارتی است

شکل 12-3 :

⑥ tube plate : دو تا صفحه است که مربعی هم سوراخ شده است و لوله ها بین آن ها کشیده شده و جوش می شود.

⑦ کله : سمت راست شعله دارد : فرض کنید سیال وارد قسمت پایین کله راست می شود. از درون لوله ها وارد کله ی چپ می شود و دور می زند (180°) و وارد قسمت بالای کله راست چپ می شود و از طریق نازل ⑨ خارج می شود ← 2 pass

سیال سمت پوسته از پایین وارد می شود (جهت با baffle بین لوله هاست) با حالت زیگزاگ حرکت کرده و خارج می شود ← 1pass در سمت پوسته 2pass در سمت لوله.

⑭ بافل

⑮ Tie rod & spacer : ممکن است بیش از یکی باشد (هرچه قطر ↑ ⇐ تعداد ↑) ، وظیفه این است که baffle ها را سر جای خود نگه دارد.

شکل این مبدل چیست ؟ لوله ها به Tube sheet وصلند Tube sheet به پوسته جوش شده و پوسته به زمین وصل است (یکپارچه است) حتی لوله و پوسته نرو ما یسان نیست. دمای هم که تجربه می کند یکسان نیست. انبساط یکی از دیگری بیشتر است.
⇐ لوله خم می شود. (تنش)
اگر این خم کمتر باشد جمع می شود ⇐ لوله تحت تنش قرار می گیرد.
تنش و تنش عمر مبدل را کم می کند. ← برای رفع این مشکل از ⑯ expansion bellow استفاده می کنند.

عیب اول : مشکل انبساط و انقباض پوسته و لوله
عیب دوم : لایه ای لوله ها را نمی توان به روش مکانیکی تمیز کرد و فقط غیر درون شیمیایی صورت است

پس راه حل این دو تا عیب می رسم سراغ شکل 12-4.

Subject:
Year. Month. Date. ( )

Fig 12-4 : به جای لوله های صاف ، لوله های U شکل داریم . در اثر انبساط و انقباض این لوله ها کمی حرکت می کنند ← مشکل انبساط و انقباض کاملاً حل می شود . چون دیگر tube sheet وجود ندارد .

عیب اول : تمیز کردن U ها به روشهای مکانیکی سخت است

عیب دوم : تعداد pass های سمت لوله حداکثر می تواند ۴ تا باشد (1-2 ، 1-4) .

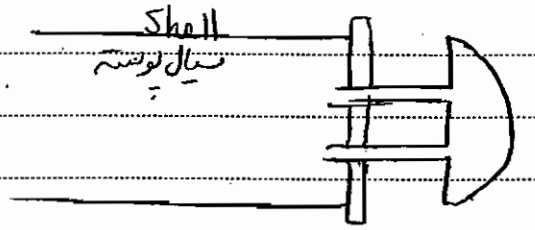
البته در این ها بیرون لوله های U شکل به هر دو صورت مکانیکی و شیمیایی تمیز می شوند . چون کلاً U می تواند بیرون بیاید .

راه حل این مشکل سر شناور است .

Fig 12-5 : (کله ی داخلی شناور) : در سمت چپ دو تا طبق داریم : در کله ی کوچک لوله ها و در جریان می چرخد و این کله ی کوچک داخل بزرگ حرکت می کند .

Internal Floating head < with clamp ring / without " " > مربوط به هم مکانیک

External Floating head



آب بندی کردن به نوعی که نشتی نداشته باشد ولی اجازه ی حرکت هم بدهد .

این External Floating head برای است که فشار سیال سمت پوسته کم باشد ولی اگر فشار زیاد بود باید از Internal استفاده کنیم .

* * *

انتخاب مسیر :

دو سیال داریم : گرم و سرد . دو تا مسیر داریم : پوسته و لوله .

کدام سیال در کدام مسیر باشد ؟ معیارهای فنی داریم . اولین معیار ① خوردگی است . سپس

دوتا سیال را از نظر خوردگی بررسی می کنیم. سیال خورنده تر سمت لوله است. (لوله ها ارام ارام بتوند خورد کرد اما پوسته را خیر) لوله ها مقاومت خوردگی بالاست (Stainless steel). اگر خوردگی هر دو مثل هم باشد:

② رسوب گیری: سیال که رسوب دهی بیشتری دارد در سمت لوله قرار گیرد. چون تمیز کردن داخل لوله ها راحت تر است. اگر Fixed tube باشد به روش مکانیکی نمی شود تمیز کرد.

③ دمای سیال: سیال داغ تر (به شرطی که مقاومت زیاد باشد) سمت لوله است. چرا؟
اگر داغ تر باشد جنس بهتری می خواهیم و جنس بهتر سمت لوله است. از طرفی اگر در سمت پوسته بگذاریم باید عایق کاری ضخیم کنیم و هزینه ها بالا تر می رود.

④ فشار سیال: سیال با فشار بالاتر سمت لوله است. چرا؟ سمت ضخامت لوله به قطر لوله با سمت ضخامت پوسته به قطر پوسته مقایسه میشود:

$$\left(\frac{t}{d}\right)_{\text{لوله}} \gg \left(\frac{t}{D}\right)_{\text{پوسته}}$$

⑤ ویسکوزیته سیال: سیال ویسکوزتر در سمت پوسته است. چرا؟
دوست داریم جریان ها آشفته باشند تا انتقال حرارت زیاد شود. در لوله چه عاملی زیاد می شود؟
اگر μ بالا رود پوسته بگذاریم ممکن است آشفته نشود.

$$\text{لوله}: Re = \frac{\rho u d_i}{\mu} > 4000$$

$$\text{پوسته}: Re = \frac{\rho u d_i}{\mu} > 400$$

⑥ شدت جریان سیال: سیال با شدت جریان کمتر در سمت پوسته است.

۶ مورد بالا به ترتیب اولویت بود.

Subject:
Year. Month. Date. ( )

سرعت های داخل لوله های مجاز:

Liquid Tube 1-2/5 m/s max 4 m/s

Liquid Shell 0/3-1 m/s

Vapour & gas vaccum 50-70 m/s

" " atmospheric 10-30 m/s

" " high pressure 5-10 m/s

افت فشارهای مجاز:

Liquid $\mu < 10^{-3}$ $\frac{N \cdot S}{m^2}$ $\Delta p \simeq 35$ Kpa

" $\mu = 10^{-3} - 10^{-2}$ " $\Delta p \simeq 70$ Kpa

Vapour & gas $P_{abs} < 50$ mmHg $\Delta p \simeq 3-6$ mmHg

" " $50 < P_{abs} < 760$ mmHg $\Delta p \simeq 0/1\ P_{abs}$

" " $1 < P_{abs} < 10$ bar $\Delta p \simeq 0/5-2$ bar

" " $P_{abs} > 10$ bar $\Delta p \simeq 0/1\ P_{abs}$

* * * *

ما داشتیم S+T nm ، n هست ؛ تعداد pass های سمت پوسته

سه حالت داشتیم: 1) Temp approach 2) Temp Mean 3) Temp cross

⇐ اولین کار در طراحی مدل این است که: 1) کدام سیال را در کدام مسیر بگذاریم.

2) n را مشخص کن ← از طریق اختلاف دمای خروجی ها ($n=2$ یا $n=1$)

Subject:
Year. Month. Date. ( )

جلسه‌ی ۱۴ ۸۸/۱/

ادامه‌ی مبدل‌های حرارتی :

$Q = m C_p \Delta T = \dot{M} C_p \Delta T$

$Q = U_o A_o F \Delta T_{lm}$

تعداد گذر در سمت لوله

Shell & Tube : $\overset{\nearrow}{n} - \overset{\nearrow}{m}$

F به این بستگی دارد که $n=1$ یا $n=2$ است.

1) { if Approach Temperature ≥ 0 $n=1$
   { if " " < 0 $n=2$

2) $U_o A_o = \checkmark = const$

3) Guess U_o (Fig 12-1)

4) Calculate A_o

از این جا به بعد بایستی بحث انتخاب مواد را بیاموزیم.

5) $A_o = \pi d_o L N_t$ N_t: تعداد لوله‌ها d_o: قطر خارجی لوله‌ها

L: طول لوله

انتخاب ابعاد لوله (d_o, d_i, L) ← به چه دردی می‌خورد؟

در جدول (۱۲-۳) در بعضی ابعاد استاندارد لوله‌های فولادی نشان داده شده است.

از جدول d_o را انتخاب کرده و با توجه به مشاره‌ی ضخامت راهبر تعیین می‌کنیم ← d_i مشخص شد.

این یک انتخاب است و لزوماً انتخاب درستی نیست.

مبدل‌های پوسته و لوله را در طول‌های مشخص ۶، ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۶ فوت می‌سازند.

طبیعی است اگر L را به جای ۶، ۱۲ فوت بگیریم تعداد لوله‌ها نصف می‌شود.

اگر در مبدل لوله‌های بلند بایستی مقاومت کم است ← اساساً ترجیح روی لوله‌های بلند است چون هزینه ساخت مبدل کم می‌شود (چون تعداد مبدل کمتر ← سطح کمتر ← ضخامت پوسته کم

Subject:
Year. Month. Date. ( )

آخرین گام طراحی baffle هایی باشد:

در شکل (۱۲-۱۳): جدیدترین نوع baffle را با بیشتر داده است. متداول‌ترین آن‌ها Segmental (قطاعی) است. یک قسمت آن حذف شده است که به آن window (پنجره) گویند.

توالی بالا پایین بودن پنجره‌ها باعث حرکت زیگزاگی سیال از بالا به پایین می‌شود.

حالت (d) orifice اصلاً پنجره ندارد و سیال از سوراخ بین لوله و baffle خارج می‌شود.

گاز اسفورها بخار را به مایع تبدیل می‌کنند. مایع پشت دیواره‌ی baffle جمع می‌شود.
یک راه ایجاد پنجره‌ی افقی است.
" " پنجره‌ی عمودی است ← در این حالت بخار به جای حرکت بالا پایین از پهلو حرکت می‌کند.

ما ۲ تا پارامتر داریم: ① درصد $\text{Baffle cut} = \frac{A}{D_s} \times 100$ که معمولاً 15 تا 25 است. 35 و 45 متداول‌ترین است.

هر چه درصد پنجره بزرگ‌تر باشد خوب است یا بدتر؟ افت فشار کمتر و انتقال حرارت کمتر می‌شود ← باید بهینه‌سازی کرد.

چون سرعت ↓ ← Re ↓

② فاصله‌ی baffle ها:

مثلاً طول مبدل ۴ متر است. می‌توان سه تا baffle گذاشت یعنی فاصله هر دو baffle متوالی 1m است. اگر فاصل 0.5 باشد یعنی 7 تا baffle گذاریم ← سرعت ↑ ← ضریب حرارت ↑ ← ΔP ↑

$$l_B = \text{Baffle Spacing} = \frac{D_s}{10} \text{ تا } D_s$$

معمولاً $\frac{D_s}{5}$ برای شروع محاسبات مقدار خوبی است.

PAPCO

ject:

Year. Month. Date. ( )

دوری آرایش چهارم

در شکل (۱۲-۹) سه نوع آرایش لوله‌ها داریم ۱) مربعی ۲) مثلثی ۳) مربعی چرخیده

روی این شکل خاصی مرتبه مرتبه را علامت زده است = گام لوله (P_t)

معمولاً $P_t = 1.25\, d_o$

آرایش مثلثی معمولاً هندگی خوب است به سایل سمت پوسته تمیز باشد (رسوب نداشته)

دو آرایش دیگر برای حالت رسوب دار است.

6) select m.

m می‌تواند عددی از ۲ باشد (هندگی که $n=1$ است) و می‌تواند عددی از ۴ باشد (در حالت ۲ پاس)

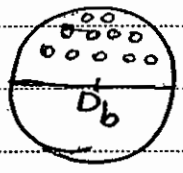
$$\begin{cases} n=1 \rightsquigarrow m=2k \\ n=2 \rightsquigarrow m=4k \end{cases}$$

وقتی تعداد pass ها زیاد شود یعنی تعداد لوله‌های کمتری برای عبور دارد ← سرعت سیال زیادی شود

← Re زیادی شود ← افت فشار زیاد می‌شود. (البته h هم بالا می‌رود)

سرعت مجاز تا $2.5\ m/s$ است.

می‌خواهیم ببینیم بعد از انجام این ۶ مرحله و با توجه به آرایش انتخابی، D_b چه قدر می‌شود:



$$D_b = d_o \left(\frac{N_t}{K_1}\right)^{\frac{1}{n_1}}$$

K_1 و n_1 از جدول (۱۲-۴) بدست می‌آید.

قطر برصی دایره‌ای فرضی که لوله‌ها را در بر گرفته است: (قطر طاف) Bundel Diameter

D_b به ما کمک می‌کند تا قطر پوسته را بدست آوریم.

پس از بدست آوردن D_b به شکل Fig (۱۲-۱۰) می‌رویم:

D_s = قطر داخلی پوسته ← عبور عمودی

$D_s - D_b$

قطر خارجی پوسته توسط ضخامت تعیین می‌شود و ضخامت به اندازه فشار بستگی دارد که بحثی مکانیکی است.

D_b

PAPCO

Subject:

Year Month Date ( )

$$\Delta p = 8 j_f \frac{L}{d_i} \left(\frac{\rho u_t^2}{2} \right)$$ افت فشار در یک لوله

در مبدل حرارتی بایستی از یک لوله داریم

$$\Delta p_t = N_p \left[8 j_f \frac{L}{d_i} \varphi^{-1} + 2.5 \right] \frac{\rho u_t^2}{2}$$

N_p تعداد pass در سمت لوله

m = تعداد pass در سمت لوله

Δp_t افت فشار برای جریان در سمت لوله

$\Leftarrow$ به ازای هر pass ، 2.5 برابر هد سرعت $(\rho u_t^2/2)$ افت فشار دارد.

2.5 برابر با مجموع ضرایب K در ورود و خروج سیالات است.

j_f از شکل (۱۲-۲۴) بدست می آید

نکته:

① $m=2$ $u_t = u_{t1}$ Re_1, h_{i1} Δp_{t1}

② $m=4$ $u_{t2} = 2u_{t1}$ $2Re_1, \simeq 2h_{i1}$ $8\Delta p_{t1}$

چون در مبدل با N_p ، 2 برابر و u_t^2 ، 4 برابر شده است.

حالت ② هم خوب است و هم برا است. خوب است چون سنگین است افت فشار با این که خارج از حد مجاز است ولی با تعمیر می آن را در حد مجاز آورد ولی در این حالت متناسفانه افت حرارت هم کمتر می شود. اما:

تأثیر پذیری افت فشار بیشتر از انتقال حرارت است.

Δp_s ، h_o :

Flow Patterns (الگوهای جریان):

شکل (۱۲-۲۶) را نگاه کن:

جریان B را جریان اصلی گویند (حالت عبور از یک پیچ به یک پیچ دیگر)

در جریان های A سیال از خاصیت بین لوله و سوراخی baffle عبور می کند ← خوب نیست چون سریع مبدل را طی می کند و انتقال حرارت انجام نمی دهد. ولی اجتناب ناپذیر است و راه حلش این است که فواصل را کم کنیم.

PqPCO

ject:

Year. Month. Date. ( )

سپس با حدس $u_o \rightarrow A, V \rightarrow N_t, d_o, d_i, L$ ، آراستن ، P_t, D_b ، Baffle cut، l_B

ولی تمام محاسبات بالا برمبنای یک حدس بوده است و می توانیم بگوییم که حتماً درست است ⇐

باید برمبنای داده هایی که بدست آورده ایم ΔP_t و h_i و ΔP_{S} و h_o (Shell)

را بدست می آوریم.

از h_i و h_o تبدیل U_o می رسیم و U_o را با U_o حدس زده مقایسه می کنیم.

ΔP_t و ΔP_s را با مقادیر مجاز مقایسه کرده ، اگر بیشتر از حد مجاز بود یعنی

بفرها خیلی کوچک است یا تعداد baffle ها کم است.

مثلاً افت فشار مجاز 50 kpa است. محاسبات ما 2 kpa را نشان می دهد. یعنی افت

فشار کم یعنی اصطکاک حرارت کم. ⇐ سپس کار خوب نبوده است ⇐ باید دبی را کوچک کرد

یا تعداد h_i و ΔP_t ← تعداد بفر و همین باعث تعادلات تجربی.

لـ علاوه بر روش حدس و روش زیر هم داریم که در زیر آمده است

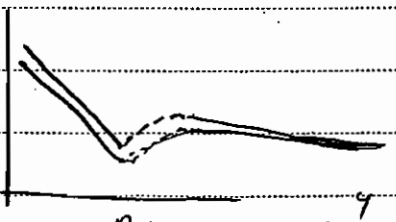
$$Nu = j_h \, Re \, Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14}$$

$Nu \rightarrow \frac{h_i d_i}{k}$ ، $Re \rightarrow \frac{\rho u d_i}{\mu}$ ، ϕ (viscosity correction factor)

برای آب و الکل و سیالات خوب $\phi = 1$ است.

برای سیالاتی که ویسکوزیتی آن ها با دما تغییر می کند $\phi \neq 1$ است.

Heat Transfer Factor → (شکل ۱۲-۲۳)



که از حدود $Re = 2000$ به بعد سنت $\frac{L}{d}$ مطرح نیست امنا

خط چین برای حالت Transition است.

لـ این نمودار هم برای آرام و هم برای متلاطم است.

Subject:
Year. Month. Date. ( )

مساحت مربع — مساحت دایره

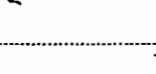
□ $d_e = \frac{4\left(P_t^2 - \frac{\pi}{4}d_o^2\right)}{\pi d_o}$ برای آرایش مربعی: (۱۲-۲۸) شکل

محیط ترشده

مساحت لوله — مساحت دایره

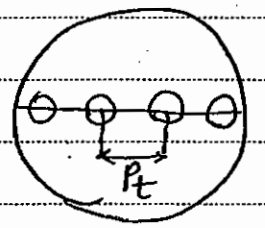
Δ $d_e = \frac{4\left(\frac{1}{2}P_t^2 \sin 60 - \frac{1}{2}\frac{\pi}{4}d_o^2\right)}{\frac{1}{2}\pi d_o}$ برای آرایش مثلثی:

نصف محیط ترشده = نصف دایره

در حالت کلی بسته به شکل  است و حرکت از بالا به پایین نه باعث افزایش می‌شود (سرعت کم می‌شود) تا به خط میل برسد و از خط میل به بعد از بالا به پایین کم می‌شود (سرعت زیاد می‌شود)

$$A_S = D_S l_B \left(\frac{P_t - d_o}{P_t}\right)$$

منظور ما فقط یک لوله داریم و تمام مساحت برای عبور سیال آزاد نیست و فقط یکی از آن آزاد است. ← دوباره یک سوالی از خاصیتی را در نظر می‌گیریم که خاصیتی آزاد است؟ $P_t - d_o$.



کسر $= \frac{P_t - d_o}{P_t}$.

$$u_S = \frac{\dot{m}_{S\to tell}}{\rho A_S} \Rightarrow Re = \frac{\rho d_e u_S}{\mu}$$

$$\begin{cases} Nu = \frac{h_o d_e}{k} = j_h Re\, Pr^{1/3} \varphi \\ \Delta P_S = 4 j_f \frac{D_S}{d_e} \frac{L}{l_B} \frac{\rho u_S^2}{2} \varphi^{-1} \end{cases}$$

j_f و j_h از شکل‌های ۲۹ و ۳۰ بدست می‌آیند.

اگر خاصیتی Nobaffle باشد چه اتفاقی می‌افتد؟ A_S نصف می‌شود. u_S دوبرابر می‌شود. Re دوبرابر می‌شود. h تقریباً ۲ برابر می‌شود. — افت فشار ۸ برابر می‌شود.

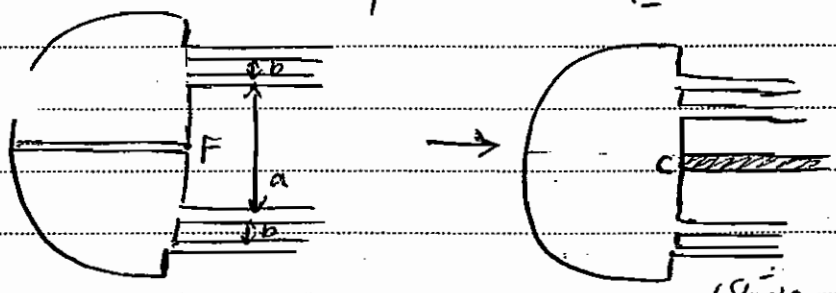
⇐ $\dot{m}$ دوبرابر و چه ρ نصف شود، سرعت دوبرابر، h دوبرابر و ΔP ۸ برابر می‌شود.

جریان C : بین Tube Bundle و پوسته است : خیلی مؤثر است. چون اگر این فضا زیاد باشد، سیال ترجیح می‌دهد از همان جا و بدون انتقال حرارت (HT) رد شود.

جریان E : مد فاصل بین لبه‌ی پوسته و baffle است

جریان F : فاصله‌ی a نسبت به فواصل b بیشتر است. پس سیال ترجیح می‌دهد از فاصله‌ی a که فضا بیشتر است عبور کند

چه کنیم تا a کم شود؟
از نقطه‌ی c صفحه‌ای جوش می‌دهیم و فاصله‌ی a را کم می‌کند.



برای یافتن h_o ، ΔP_s روش‌های مختلفی است :

۱) روش Kern (۱۹۵۰) : فقط جریان B در نظر گرفته می‌شود و از جریان‌های فرعی صرف نظر می‌شود.

۲) روش Bell (۱۹۷۰) : با استفاده از یک سری ضرایب تصحیح کننده وجود جریان‌های فرعی هم در نظر گرفته می‌شود.

روش Bell دقیق‌تر است و جزئیات هندسی بیشتری را می‌طلبد.

اسکلت روش Kern را می‌گوید.

شکل (۱۲-۲۵) : آقای Kern جریان مورب B را به ۲ تا جریان ایده‌آل شکسته است. axial و cross

$$Nu = f(Re, Pr)$$

d_e : قطر معادل = d_e را بر مبنای جریان axial (مجری) حساب می‌کنیم

$$Re = \frac{\rho d_e u_s}{\mu}$$

u_s : بر مبنای جریان cross محاسبه می‌شود

[بر آیند آن‌ها به صورت مورب است]

Subject:

Year. Month. Date. ( )

$Q = \dot{m}_{water}\, C_p\, \Delta T \quad (water)$ سرد کردن با آب است

$4/34 \times 10^6 = \dot{m} \times 4200 \times (40-25) \Rightarrow \dot{m}_{water} = 68/9 \ \frac{kg}{s}$

$t_1 = 25 \xrightarrow{\text{water (Tube)}} 40 = t_2$

$T_1 = 95 \xrightarrow{\text{Methanol (Shell)}} T_2 = 40$

$\Delta T_{lm} = \frac{15-55}{\ln \frac{15}{55}} = 31^\circ C$

$\frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} = \frac{15}{70} = 0/214$

ضریب تصحیح: $P = 0/21$, $R = 3/67 \rightarrow F = 0/85$ (Fig 10-8)

$\frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = \frac{55}{15} = 3/44$

انتخاب لوله: $\frac{3}{4}$ in

④ $Q = U_o A_o F \Delta T_{lm}$

U_o مقدار: Fig 12-1 ؛ آب = محور افقی ؛ مواد عوق = محور عمودی

مادهای را انتخاب کن که ارتباط ⇒ متانول نداریم

حرارتی به متانول نزدیک است (pr حالا هم نزدیک است) . آب خودش به متانول نزدیک است

⇐ در نتیجه با محدوده‌ی محلول‌های آبی رابطه می‌گیریم.

Dilute aqueous

(حالت لوله) $U_o = 400 \ W/m^2 \cdot ^\circ C$

$A_o = 278 m^2 \Rightarrow A_o = \pi d_o L N_t$: سه تا مجهول داریم که با آنها را باید انتخاب کنیم.

$d_o = 20 mm$ (از Table 12-2 بر حسب اینچ)

d_i از روی d_o و BWG

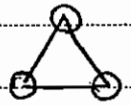
$d_i = 16 mm$ ، $d_o = 20 mm$ ، $L = 16 ft = 4/88 m$

$N_t = 918$

با کوتاه کردن طول بدل متوسط می‌شود.

$K_w = 50 \ \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$

آرایش مثلثی



سیال گرم :

$P_t = 1/25 \, d_o = 25 mm$

$n = \frac{2k}{\text{مضارب ۲}} = 2$

Subject: 17.T

ar. Month. Date. ( )

۸۸/۱/۱۹ حلبری

مثال) ۱۰۰ $\frac{ton}{hr}$ متانول باید از ۹۵°C به ۴۰°C خنک گردد. آب ورودی ۲۵°C و خروجی ۴۰°C جهت سرد کردن استفاده خواهد شد. مطلوبست طراحی مبدل حرارتی پوسته و لوله با توجه به محدودیت های ذکر شده در کتاب واستفاده از Bandle به شکل split ring Floating head شکل 12-5

حل) ابتدا باید با توجه به داده ها خواص فیزیکی را پیدا کنیم.

	water	Methanol
$\bar{\theta}$	32,5	67,5
ρ	995	750
c_p	4200	2890
μ	$0,8\times10^{-3}$	$0,34\times10^{-3}$
k	0,59	0,19
pr	5,7	5,1

② قدم بعدی این است که بگوییم کدام سیال را در کدام مسیر قرار دهیم. (هم برای صحت، صحت خوردگی است.) آب خورنده تر از متانول است ⇐ آب در سمت لوله قرار می گیرد.

③ قدم بعدی: S+T : n−m

$A.T = 40 - 40 = 0 \Rightarrow \boxed{n=1}$ ⇐ ورودی سیال سرد − خروجی سیال گرم = approch Temp

④ $Q = \dot{m} c_p \Delta T$ (متانول) $\left(\dot{m} = 100 \frac{ton}{hr} = \frac{100000}{3600} \frac{kg}{s}\right)$ ؟Q

$\Rightarrow Q = \frac{100000}{3600} \frac{kg}{s} \times 2890 (95-40) = 4,34$ Mw

متانول را می توان با ۹۵°C به داخل تانک ذخیره برد و باید به ۴۰°C برسد.

Subject:

Year. Month. Date. ( )

$h_o, \Delta P_S = ?$ → Shell = Methanol

قطر معادل (آرایش خانه) $\Rightarrow d_e = 14.4$ mm

$$A_S = \frac{P_t - d_o}{P_t} \times D_S \times l_B = 0.032 \ m^2$$

$$u_S = \frac{\dot{m}}{\rho A_S} = (1.16) \ m/s$$ (جهت ؟)

حداکثر سرعت در سمت بوسته 1 m/s است و محاسبه شده است و سرعت مناسبی را دارد.

(l_B) فاصله Baffle است. راه و اسه کم کردن سرعت کم کردن فاصله‌ی

$$Re = \frac{\rho u_S d_e}{\mu} = 36$$ ← $j_h = 3.3 \times 10^{-3}$ ؟ ، $j_f = 4 \times 10^{-2}$ ؟

$$Nu = \frac{h_o d_e}{k} = j_h \, Re \, Pr^{1/3} \Rightarrow h_o = 2740 \ \frac{w}{m^2 \cdot C}$$

$$\Delta P_S = 8 j_f \frac{D_S}{d_e} \frac{L}{l_B} \frac{\rho u_S^2}{2} \phi^{-1} \Rightarrow \Delta P_S = 272 \ \frac{kN}{m^2}$$

← معمولاً باید l_B را زیاد کرد تا u_S و ΔP_S در رنج قرار گیرد.

اگر l_B 2 برابر شود، ΔP_S $\frac{1}{8}$ می‌شود.

و حالا: $$\frac{1}{U_o} = \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_{od}} + \frac{d_i \ln(d_o/d_i)}{2K_w} + \frac{d_o}{d_i}\left(\frac{1}{h_{id}} + \frac{1}{h_i}\right)$$

$$h_{id} = h_{od} = 4000 \ \frac{w}{m^2 \cdot C}$$

$U_o = 115 \ \frac{w}{m^2 \cdot C}$ → (جدول) حدس اولیه‌ی ما 400 بوده است.

← باید محاسبات را از اول با $U_o = 115$ بار کنیم.

U_o زیاد شد ← A_o کم می‌شود ← N_t کم می‌شود ($m=2$) ← سرعت زیاد می‌شود

D_b کم می‌شود ← D_S کم می‌شود

l_B زیاد شد ← ΔP_S کم می‌شود

و اگر l_B را زیاد کنیم ΔP_S کم می‌شود و u_S زیاد می‌شود

l_B را تغییر دادیم و u_S و ΔP_S تغییر کرد و U_o تغییر کرد و A_o تغییر کرد و N_t تغییر کرد و D_b تغییر کرد و D_S تغییر کرد و l_B تغییر کرد

ΔP_S زیاد شد ← l_B زیاد شد

PARCO

Subject:

Year. Month. Date. ( )

$$D_b = d_o \left(\frac{N_t}{K_1}\right)^{\frac{1}{n_1}} = 826 \text{ mm}$$

$D_s - D_b = 68$ mm $\longrightarrow$ Fig 12-10

$D_s = 894$ mm

فاصله: $\frac{D_s}{10} < l_B < D_s$ $\rightarrow$ انتخاب اول: $\frac{D_s}{5} = l_B = 178$ mm

$\%\ B.C = 25 = \%$ Baffle cut

$\rightarrow h_i, \Delta P_t = ?$

$$Re = \frac{\rho u_t d_i}{\mu} \quad , \quad u_t = \frac{\dot{m}_{water}}{\rho \frac{\pi}{4} d_i^2 (N_t/m)} = \frac{68/9}{995 \times \frac{\pi}{4} (16\times10^{-3})^2 (\frac{918}{2})}$$

$\Rightarrow u_t = 1.75$ (m/s)

$\hookrightarrow$ مقایسه با مقادیر مجاز: درست ولی $1 < u_t < 2.5$

$u_t = 1.75 \leftarrow$ از حد مجاز کمتر است.

$Re = 14925 \longrightarrow j_h = 3.7 \times 10^{-3}$

$\searrow f = 4.3 \times 10^{-3}$

$$Nu = \frac{h_i d_i}{k} = j_h Re\, Pr^{1/3} \varphi \qquad \varphi = \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14} = 1$$

$\Rightarrow h_i = 3414 \frac{W}{m^2 C}$

$$\Delta P_t = N_p \left[8 j_h \frac{L}{d_i} \varphi^{-1} + 2.5\right] \frac{\rho u_t^2}{2} = 7.2 \frac{kN}{m^2} < 35 \frac{kN}{m^2}$$

حد مجاز است.

اگر $m=4 \longrightarrow$ حد مجاز است u $\rightarrow$ $\boxed{m=2}$

$\searrow$ حد مجاز نیست ΔP

PAPCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

تا چه حد اختلاف معقول است؟ ٪۱۰ تا ٪۱۵ خطا.

بروشور پلیکی: در مورد H-E Data sheet بحث.

TEMA { B: Business
C: chemical
R: Refinary (صنایع نفت و گاز و پترو)

استاندارد محاسبات حرارتی مبدل ها است.

خط 31: امید بسیار در اکثر مواقع میزان تبادلی که واقعی است.

خط 33: وقتی یک قراردادی بین دو شرکت بسته شده قرارگذاشته شده که حرارت مبدل ها ٪۱۰ بالاتر از مقدار اسمی باشد. مثلاً $Q_{act} = Q_{\text{تئوری}} \times 1.1$

خط 38: چرا ۲۵۰°C؟ چون ممکن است پروپیلن منبسط شود و تبخیر شود و دمای آن کم شود. پروپیلن با دمای کم سیار تکه شده است پس باید از LTCS (Low Temperature) استفاده شود.

خروج مبدل حرارتی Data sheet را طراحی کن.

H.W) روغن موتور با شدت جریان 15/4 $(\frac{kg}{s})$ از دمای ۲۰۰°C به ۱۰۰°C خنک می‌شود. سیال سرد آب با دمای ۲۰°C و خروجی ۵۰°C است که در سمت لوله است. ضریب رسوب آب $(h_{id} = 5000 \frac{w}{m^2 °C})$ و ضریب رسوب روغن $(h_{od} = 1500 \frac{w}{m^2 °C})$ است. مطلوبست طراحی مبدل پوسته و لوله‌ای ۱-۴ برای این منظور؟

حل) در سمت آب $\varphi = 1$ و در سمت روغن $\varphi \neq 1$ است

Subject:

Year. Month. Date. ( )

Subject: سیم

Year. Month. Date. ( )

۱۴۰۲/۱/۲۳ جلسه

Shell & Tube Heat Exchanger with phase change:

ابتدا به سراغ کندانسورها می‌رویم.

(I) Condensors { 1- Direct
2- Indirect

Direct: اتاقی را تصور کنید که محفظه ابتدایی دوش است که آب سرد را اسپری می‌کند بخار گرم وارد این محفظه می‌شود کندانس می‌شود.
عیب اصلی این روش این است که دو سیال با هم مخلوط می‌شوند. (این روش بیشتر در برج‌ها استفاده می‌شود.)

Indirect: یعنی یک دیواره دو سیال را از هم جدا کرده است می‌تواند پوسته و لوله، لوله‌ای یا صفحه‌ای باشد

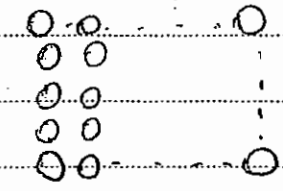
متداول‌ترین است اعم از کندانسور در سمت پوسته

Direct {
1- Horizental Shell
2- " Tube
3- vertical shell
4- " Tube
}

1) Horizental shell:
بخار در سمت پوسته است و در سمت لوله سیال سرد کننده (معمولاً آب) داریم برای بدست آوردن ضریب انتقال حرارت و افت فشار در سمت لوله چه باید کرد؟
در سمت لوله آب بدون تغییر فاز داریم. مثل جلسات قبل باید Nu, Re و h را بدست آوریم. Δp هم بدست می‌آید و در نتیجه به افت فشار می‌رسیم.

سمت پوسته را قبلاً در فصل ۹ دیدیم. (استاد هم مثالی حل کرد.)

$\bar{h} = h_1 \times N_T^{-1/4}$



تنها پیچیدگی موردنیاز تخمین طراحی لوله بوده
صحبتی از baffle ها در فصل ۹ نمی‌شد.

PARCO

Subject:

Year. Month. Date. ( )

l_B ، B.C ، baffle قطر ، h موتر نیستند چون پدیده‌ای است که در سطح بیرون در حال اجرا است.

در صورت افت فشار در حضور B.C پیچیده‌تر است، چون بخار وارد شده و جریان تک فازی مایع خارج می‌شود پس وضعیت دو فازی است ⇐

ساده‌ترین راه که دقیق است به صورت زیر است: می‌توان افت فشار را محاسبه کرد با فرض اینکه فقط کراس فلو داریم (از مرجع: $\Delta P_S = 8 j_f \frac{D_S}{d_e} \frac{\rho u_s^2}{2} \frac{L}{l_B}$) و سپس ΔP_S بدست آورده

$$\Delta P = \frac{1}{2} \Delta P_S$$

را در $\frac{1}{2}$ ضرب می‌کنیم. ← فاکتور اصلاحی baffle ها

آیا l_B روی افت فشار تأثیری دارد؟ بله.

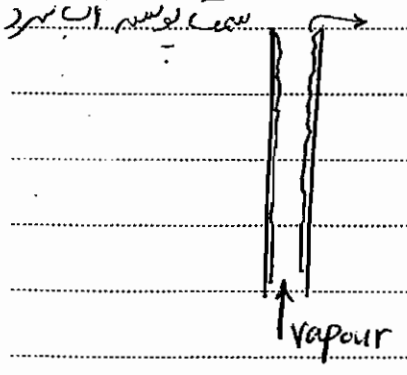
⇐ baffle ها و فاصله‌شان روی انتقال حرارت تأثیر ندارد اما روی ΔP تأثیر دارد. برای همین در اکسچنجرها از حداکثر تعداد baffle ها استفاده می‌شود.

حالا سه تا baffle نداریم؟

خیر، باید بزاریم. وظیفه‌ی baffle این است که به عنوان تکیه‌گاه برای لوله‌ها عمل می‌کند (لوله‌ها را به Tube sheet جوش می‌دهیم) اگر تکیه‌گاه به اندازه‌ی کافی نباشد لوله خم می‌شود و می‌شکند.

4) Vertical Tube:

بخار و بخار در سمت لوله. در داخل پوسته آب سرد جاری است.



فرض کنید ضخامت داخلی لوله کوچک باشد یا دبی بخار ورودی به این لوله زیاد باشد: چه اتفاقی می‌افتد؟

دو تا سیلم مایع به جای وسط به هم می‌رسند. بخار می‌تواند بالا رود و باید منتظر بماند تا مایع مسیر پایین باز شود تا بالا رود و همین این اتفاق بیفتد و این باعث ناپایداری می‌شود ⇐ پدیده‌ی Floading (طغیان) اتفاق می‌افتد.

سمت پوسته آب خنک

A ↑ Vapour

$$(u_V^{1/2} \rho_V^{1/4} + u_L^{1/2} \rho_L^{1/4}) < 0.6 [g d_L (\rho_L - \rho_V)]^{1/4}$$

← ناپایداری طغیان اتفاق نیفتد.

⇐ خط باید زیاد باشد. سرعت‌ها باید کم باشند تا طغیان اتفاق نیفتد.

u_V و u_L را چه جوری بدست آوریم؟

فرض کنیم دورودی A کل مقطع لوله برای بخار (بدست آوردن u_V) و 1mm بالاتر از آن سطح مایع است. (بدست آوردن u_L)

مثال: در بالای برج تقطیر حلال‌سازی تولن $10 \frac{ton}{hr}$ بخار تولن وارد ۲۰۰ لوله هرکدام به قطر داخلی 5cm می‌شود. مشخص کنید در این کندانسور عمودی پدیده‌ی floading (طغیان) رخ می‌دهد یا خیر؟

$\rho_{بخار} = \rho_V = 2.7 \ Kg/m^3$ $\quad \rho_l = 840 \ Kg/m^3$

$$u_V = \frac{10000}{3600 \times 2.7 \times 0.39 \times 11/4 (0.05)^2 \times 200} = 2.44 \ m/s \quad , \quad u_l = \frac{10000}{3600 \times 840 \times 0.39} = 0.0076 \ m/s$$ (حل)

$d_l = 0.68 \ cm \Rightarrow 2.8 < 2.7 \Rightarrow$ floading رخ نمی‌دهد.

← اگر به جای ۲۰۰ لوله، ۱۰۰ لوله داشتیم با قطر به جای 2.5cm < 5cm بود، حرکتی می‌افتاد؟ سرعت زیاد می‌شد و احتمال داشت floading اتفاق بیفتد.

Subject:

Year. Month. Date. ( )

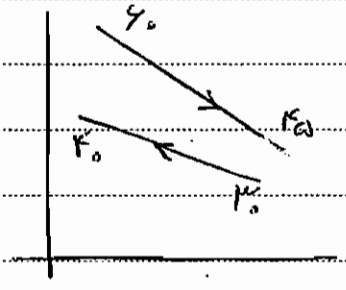
مثال) خطوط پروپان و بوتان (LPG) بصورت بخار در کندانسوری پوسته و لوله آبی با گاز شن
دسته پوسته تبدیل به مایع می‌شود. شدت جریان LPG برابر $F_0 \frac{ton}{hr}$ و گاز شن
در فشار 10 bar صورت می‌گیرد. گاز شن از دمای $40^\circ C$ وارد و در دمای $F_0^\circ C$
کامل می‌شود. آنتالپی ورودی بخار $596/5 \frac{KJ}{Kg}$ و آنتالپی مایع $247 \frac{KJ}{Kg}$
است. آب سرد با دمای $30^\circ C$ وارد لوله‌ها و با دمای $40^\circ C$ خارج می‌شود.
لازم است از لوله‌هایی به قطر داخلی 16/8 mm و خارجی 20 mm و طول 4/88 m
استفاده شود. (ضریب رسانش $50 \frac{W}{m^\circ C}$). مطلوبست طراحی این مبدل حرارتی؟
برای تعیین ضریب انتقال حرارت جابجایی از خواص زیر استفاده شود.

$$\rho_L = 551 \ Kg/m^3 \ , \ \mu_L = 16 \times 10^{-5} \frac{N \cdot S}{m^2} \ , \ K_L = 13 \times 10^{-2} \frac{W}{m^\circ C}$$

$$\rho_V = 19/5 \ Kg/m^3 \ ,$$

از ضریب تعویض صرف نظر گردد.

حل) ابتدا پروپان کندانس می‌شود یا بوتان؟ بوتان چون سنگین‌تر است.
از دمای 40° شروع به کندانس می‌کند و در F_0° پایان می‌یابد. پاسیه کندانسیون
است اما دمایش ثابت نیست.



برخلاف قبل که گفتیم جا تبدیل داریم،
$F=1$ است اما از این جا $F \neq 1$ است. چون
دمای کندانسیون ثابت نیست. $(F<1)$

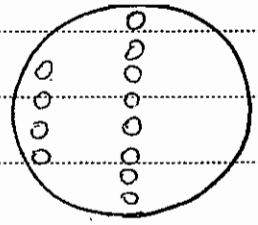
Q مبدل را چجوری بدست بیاوریم؟

$$Q = \dot{m} (h_{vap} - h_{Liq})$$

$$Q = U_0 A_0 F \Delta T_{lm}$$

$$\text{برای } U_0 \Rightarrow \quad A_0 \checkmark \Rightarrow A_0 = \pi d_0 \overset{20mm}{\underset{4188m}{L}} N_L \Rightarrow N_L \checkmark = 992 \quad \overset{S+T}{1\ 4}$$

$U_0 = 900$



$$\bar{h}_{Nr} = h_1 \times \bar{N}_r^{-1/4}$$

$$\bar{N}_r = \frac{2}{3} N_{r\,Max}$$

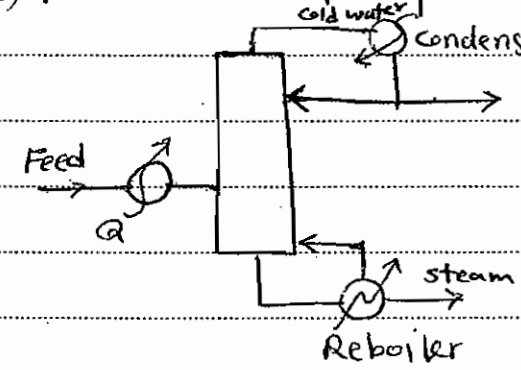
$$N_{r\,Max} = \frac{D_b}{P_t}$$

h سمت آب شل حلقه قبل (بدون تغییر فاز) بدست می آید

← دوتا h بدست می آید که از روبرو h_o بدست می آید و با h_o حاصل زده متقابلیم می گردد.

* * *

II) Reboilers + vaporizers:



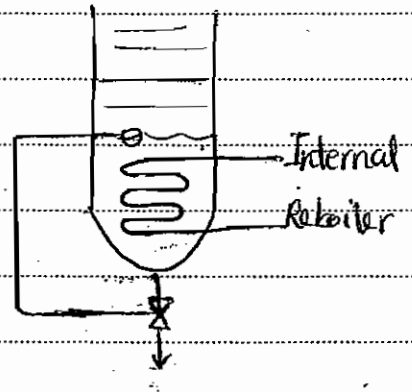
خوراکی که وارد برج می شود توسط مبدلی پیش گرم می شود.

سیال سرد شونده در لوله: آب سرد

سیال سرد شونده در Reboiler: بخار

در اغلب Reboiler های صنعتی جوشش از نوع حوضچه ای است.

ساده ترین و ارزان ترین Reboiler بصورت زیر است:



تعدادی لوله داریم که بخار وارد آن می شود و حوضچه ای پایینی را می جوشاند و بخار تولید شده به سمت بالا رفته و مایع بالایی را گرم می کند.

چرا ساده ترین و ارزان ترین است؟ چون لوله کشی وجود ندارد و خود Reboiler درون برج قرار گرفته است.

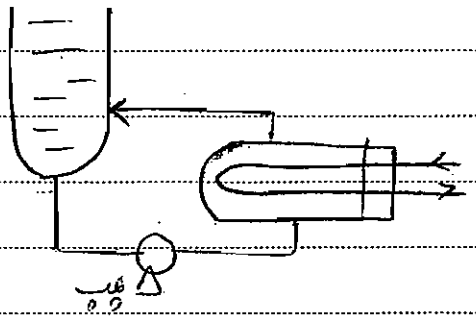
چرا از این روش خیلی استفاده نمی شود؟

چون سطح برج کم است و مایع از سطح زیاد انتقال حرارت در درون برج می شود.

Subject:

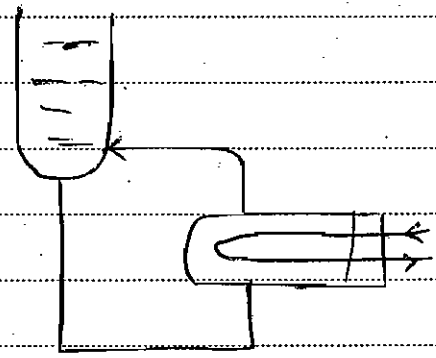
Year. Month. Date. ( )

انواع دیگر Reboiler کمی پیچیده‌تر است :



Forced convection Reboiler

نیروی محرکه = پمپ



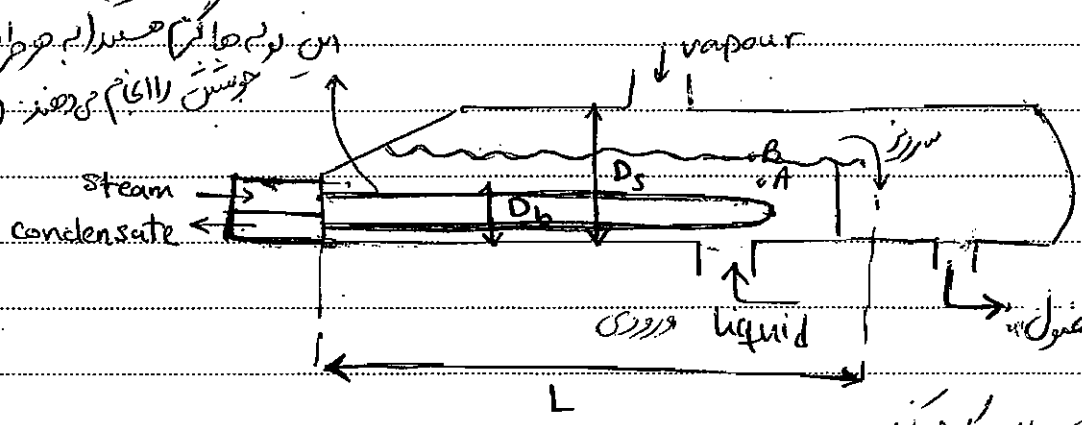
پمپ حذف شده است اما این Reboiler و برج یک اختلاف ارتفاع مصنوعی ایجاد کرده‌ایم (نیروی محرکه ارتفاع است)

Thermosyphone Reboiler

مستقل : برج باید در ارتفاع بالاتری واقع شود ⇐ نیروی که باعث برج وارد می‌کند بیشتر می‌شود

⇐ برای خنثی شدن این نیرو باید سازه‌ی قوی‌تر باشد و ضخامت بیشتر باشد

رایج‌ترین نوع Reboiler ها Kettle Reboilers است.



در ناحیه‌ی ۲ کار می‌کند.

⇐ ارتفاع سرریز که باشد بهتر است ؟

لوله‌ها باید جایی باشد که تمام لوله‌ها درون مایع غوطه‌ور باشند ⇐ نقطه‌ی B باید بالاتر از سطح A باشد. A بهتر است L B ؟

Subject:

Year. Month. Date. ( )

در حالت A حجم حوضچه کمتر است. گاهی می‌خواهیم ثابت زمانی کوچک باشد و در این هنگام می‌خواهیم حوضچه کوچک باشد ← حالت A بهتر است.

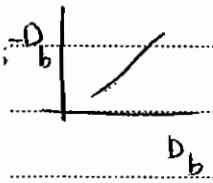
ولی وقتی می‌خواهیم ثابت بزرگ باشد (تغییرات جزئی زود متوجه نشوند) ← حجم حوضچه بزرگ بهتر است ← B بهتر است.

اما حالت B هزینه‌ی بالاتری دارد.

← چه مقدار از این مایع سرریز می‌شود و نسبت سرریز Vapour توسط چه چیزی تعیین می‌شود؟

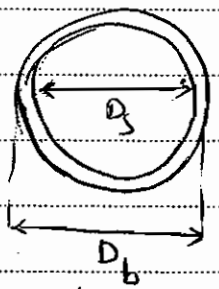
توسط گرما. ← توسط میزان بخار ورودی یا توسط آمپر برقی

مثلاً اگر دستگاه خاموش باشد، اصلاً بخاری تولید نمی‌شود. و از طرفی می‌توان آن قدر Vapour وارد کرد که Liquid همراش بخار شود و اصلا سرریزی اتفاق نیفتد.



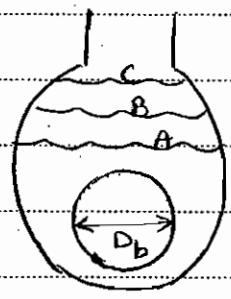
تقریبا از روی نمودار روبه‌رو D_S و D_b رابطه‌ست می‌آوریم.

ولی حالا این راه خوب نیست. و راه زیر استفاده می‌شود.



q'' (kw/m²)	D_S/D_b
<۲۵	۱/۲ - ۱/۵
۲۵ - ۴۰	۱/۴ - ۱/۸
>۴۰	۱/۷ - ۲

← Vapour حتماً باید خشک باشد: چون اگر تر باشد (دارای قطره باشد) مقداری از ترکیبات نادل خواه هم همراه با حصول بیرون می‌رود.



در هر سه حالت A، B و C، D_b ثابت و واضح است. در کدام حالت احتمال خروج قطره وجود دارد؟ حالت C.

L' = طول خط A یا B یا C.

$L'_C < L'_B < L_A$

L = طول مبدل. (از ابتدا تا سرریز)

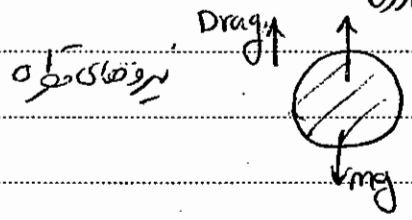
$L_A = L_B = L_C$

Subject:

Year. Month. Date. ( )

$u_{vap\,C} > u_{vap\,B} > u_{vap\,A}$ (vapour) : سرعت اوج و سرعت زیاد شده

← سرعت زیاد قطره را با خود بالا می‌برد.



شناوری و mg ثابت است اما Drag با سرعت قطره تغییر دارد. دوست داریم Drag کم باشد تا قطره پایین بیفتد.

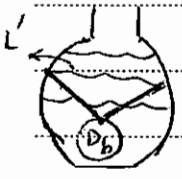
$$Drag + \text{شناوری} < mg$$

سرعت بخار

$$u_v < 0.2\left(\frac{\rho_L - \rho_v}{\rho_v}\right)^{1/2}$$

$$[\rho_L - \rho_v = mg - \text{شناوری}]$$

$$[u_v \times \rho_v = Drag]$$



← L' بدست می‌آید و از روی رابطه‌ی هندسی ارتفاع سرریز بدست می‌آید.

Subject:
Year. Month. Date. ( )

(بنام خدا)

Plate Heat Exchanger:

۱ تا ۱.۵ برابر لوله ها تعداد لقمن هستند که هم ساختشان و هم طراحی شان ساده تر است.

حالا چرا لوله پوسته و لوله استفاده می شوند؟ به خاطر محدودیتی که دارند.

در شرایطی که فشار هم ۲۵ atm دهم صفحه ای استفاده کرد صفحه ای بودن، صرفه تر است اما در حد محدودیتی را خواهیم دید.

دو نوع تبادلی از مبدل های صفحه ای داریم. مبدل های صفحه ای ۲ نوع اند ← Gasketed (واشردار)

Welded (جوش داده)

در صفحه ای شکل ۱-۴ که Gasketed است

که اگر خوب نگاه کنیم می بینیم که تشکیل شده از یک ستون در چپ، یک صفحه تقریبا در راست که یک در بالا و یک در پایین دیده می شود.

روی ریل پایین بین دو صفحه ضخیم تر در ابتدا و انتها جمع می شود و با پیچ و مهره محکم می شود.

در شکل ۲ تا سیال داریم: یک سیال سیاه و یکی سیال سفید رنگ.

سیال سیاه از بالا وارد شده و از تمام سیال صفحه هایی در سیال پایین می آید و در پایین جمع شده و خارج می شود.

سیال سفید از پایین وارد شده یک در سیال در بالا جمع شده و خارج می شود.

جریان در اینجا به صورت غیر همراه است.

(صرفا صفحات پشت سر هم را برای اینکه نشستی و نقطه نقد را بتوانیم ایجاد نیم)

تعداد کمی از یک سیال است و فضاهای زوج یک سیال است.

Subject:
Year. Month. Date. ( )

اگر بیشتر از یا برابر ۲ محکم کنیم دسته اول و اگر با جرش دادن صفحه‌ها را هم وصل کنیم نوع دوم است.

* مزیت welded چیست؟ تحمل دما و فشار بالاتر را دارد

* مزیت Gasketed چیست؟ سرعت و شستشو، باز و بسته کردن، نظافت سریع دارد. فاصله‌ی تراکم بین ۱۰ تا ۲۰ صفحه را به جای اضافه کنیم و اشغال سطح انتقال حرارت را زیاد کنیم. یا اگر صفحات صدمه دید سریع عوضشان کنیم.

این جا تا فشار حداکثر ۲۰ bar را می‌تواند تحمل کند (welded تا ۲۵ - ۳۰ درجه سانتی‌گراد) و دماهای حداکثر 180 - 250c را تحمل کند. جنس را باید محدود کرده و بیان شود. یعنی نوع فلز استیل است یا نیکل یا ...

جنس صفحات از Al، Fe، Ti، ... است را از کاتالوگ اینها را با صفحات کم می‌توانیم در بیاوریم

بنابراین اینها را با بازدهای گران قیمت در بیاوریم تا خورده نشوند، اما در SHAT کم می‌کند.

اندازه اینها از اندازه‌های به اندازه لف دیت ساخته می‌شود تا ارتفاع ۴ - ۵ تا دغل کنیم.

دبی بدل کمی است تا ۱۰۰۰ صفحه را اضافه کنند که می‌توانند تا ۲۰۰۰ سطح انتقال حرارت را داشته باشند. ← هر صفحه شامل دو سطح انتقال حرارت است.

* ضخامت صفحه‌ها از ۰،۵ - ۱،۲ میلیمتر است پس ببینید که چقدر دستگاه سبک است

* فاصله بین صفحات 2-5 میلیمتر است که این بستگی به قطر عادی در حدود ۱۰ - ۴ میلیمتری شود

بزرگترین لوله‌هایی که در بدل استفاده می‌شوند 16mm است اما اینها لوله‌ی تنش 15mm است پس

Subject:
Year. Month. Date. ( )

همین امر باعث بالا رفتن سرعت می‌شود و از زایای این نوع بدنه‌هاست.

+ صفحات صاف نیست بلکه برآمدگی‌هایی مختلف از جمله صفحه ۹ و شکل شماره ۳-۱۶ که اسم طرح بشوون است که تفاوت این طرح در زاویه‌هایشان است که بعداً تاثیرشان را می‌بینیم.

این صفحات در ابعاد استاندارد وجود دارد.

+ در صفحه ۸ نحوه جریان را در شکل‌های ۸ و ۹ و ۱۰ نشان داده است.

@ شکل ۸: آرایش Z و U داریم یعنی ۲ تا سیال داریم (خط چین ریبوسته) که خط چین از بالا به پایین - بالا ریبوسته از بالا به پایین می‌آید. پس معمولاً از آرایش U استفاده می‌شود چون کل لوله گنی درست جلو قرار می‌گیرد این صدمه جریان در قسمت است.

Z و U هر دو بدل ۱-۱ هستند

@ شکل ۹-۴: بدل ۲-۲ داریم. سیال خط چین از سمت راست وارد شده نصف سیدهای را می‌دهد. از بالا به پایین و نصف دیگر از پایین به بالا است و همین روش را به شکل برعکس سیال ریبوسته انجام می‌دهد.

** تفاوت با بدل ۱-۱ در چیست؟ فرض کنید که طراحی می‌کنیم و می‌بینیم ۹۹٪ صفحه لازم داریم که با ۲ تا صفحه کناری ۱۰۰ صفحه می‌خواهیم - این تعداد صفحات ۵۰۰ سید به ما می‌دهد در ۱-۱ حدود ۲۸۰ سید برای سیال سرد و ۲۵۰ سید برای سیال گرم دارد.

Subject :
Year. Month. Date. ( )

چیچوری !

در حالت ۲-۲ : ۱۲۵ سیم را بالا می برد ، ۱۲۵ تا را پایین می آید پس تعداد لیدها ثابت شده ⇐

سرعت ۲ را پایین می شرد ⇐ ضریب انتقال حرارت بالا رفته ⇐ انتقال حرارت ↑

⊕ زمانیکه میتوانیم ۲-۲ استفاده کنیم رابطه فلاح و طرح بالاتر از ۲-۲ استفاده می کنیم

⊕ جریان همواره قرار دارد و عدد نسلت است .

شکل ۲-۱۴ ← ۲-۱ ← سیال خط چین از پایین به بالا می رود ⇐ کلید پایین ولی سیال پیوسته نیمه سمت چپ را از بالا به پایین و نیمه سمت راست را از پایین به بالا می رود (هرچه باشد بهتر باشد برای سیال بادی کمتر مناسب است)

⊕ برای شکل ۸-۴ و ۹-۴ مقدار F=1 است چون ایده آل است

برای شکل ۱۰-۴ نیاز به F داریم که باید بیاسم .

* یک روشی که این مقدار دارند و منبع مدل دیگری ندارد استفاده از ۳ تا سیال است در آن واحد

مثال : در کارخانه های تشدید پاستوریزه ، شیر خام وارد و شیر پاستوریزه خارج می شود . شیر خام سیال سرد است و در تعدادی از صفحات با شیر گرم که برای همین بندی می خواهد برود گرم می شود و شیر خام با بخار آب گرم می شود و تبادل حرارت می کند و پاستوریزه می شود و در نهایت در سیر خروج در برابر با شیر خام در تماس قرار می گیرد .

** به لحاظ طراحی هم بسیار ساده است . اما اول باید هندسه و پارامترهای هندسی را بشناسیم پس مساحت

به شکل ۱-۱۶ نگاه کنیم (صفحه ۹)

در یک صفحه را بشمار که ۴ تا سوراخ دارد که البته فقط ۲ تا کار برای سیال عبور تبادل حرارت

Page

Subject: نکات
Year. Month. Date. ( )

مسیر abcdefa را دنبال کنید. این یک دایره است. چند تا از این دایره‌ها داخل دایره‌ی اند؟

۲ تا سمت راست داخل دایره‌ی اند، ۲ تا سمت چپ بیرون دایره‌ی اند (پشت صفحه هم همین‌طور که در میان عکس اسپند پیدا می‌شود)

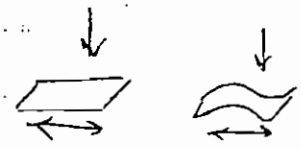
W : عرض نمید صفحه (که از لبه دایره اندازه گیری شده)

L_p : ارتفاع صفحه است (از کنترل تا ۲ تا port)

β : زاویه شیار زن

D_p : قطر سوراخی که سیال از طریق آن وارد صفحه می‌شود (D_{port})

(یا ۲ تا طول داریم یکی طول صفحه دیگری طول تصویر شده)



Developed length ← طایده ؟

Protected length

شکل ۱۰-۱۶ (b)

b : عرض صفحه

t : ضخامت صفحه

p : پیچ یا گام (فاصله Max تا min شیار)

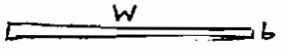
ابعاد:

(۱) $\beta = 25 - 45^\circ$

(۲) μ = ضریب بزرگ‌نمایی = Enlargement factor = $\frac{\text{Developed length}}{\text{Protected length}}$ => ۱٫۱ تا ۱٫۲۵

(۳/ Mean flow channel gap: $b = p - t$

(۴/ Channel flow Area : $A_x = b \cdot W$ از ناحیه نقطه‌ای مقطع مستطیلی می‌بینیم



(۵/ Equivalent Diameter $D_e = \frac{۴ A_x \text{ (سطح جریان)}}{۲(W + b) \text{ (سطح تر شده)}}$

که با طراحی برای عمق W بسیار بزرگتر از b

$$D_e = \frac{۲bW}{۲(W + b)} \quad , b \ll W$$

$$D_e = \frac{۲b}{۱}$$

حالا ۲ تا نرمال داریم. یکی برای افت استاندارد دیگری برای ضریب انتقال حرارت.

$$Nu = \frac{h d_e}{k} = J_h \, Re \cdot Pr^{۱/۳} \, \phi$$

برای بدست آوردن J_h - جدول ۱۴-۱ نگاه کنید -

(با فاکتور انتقال حرارت) $J_h = C_h \cdot Re^{-۰.۴}$, $Re = \frac{\dot{m}_b d_e}{A_x \mu_b}$

$\rightarrow \dot{m}_{ch} = \frac{\text{جریان کل}}{\text{تعداد کانال‌ها}}$

اگر $۱۲ kg/s$ جریان داشته باشیم در ۱۰ کانال می‌شود برای هر کانال $\dot{m} = ۰.۱$

$$\Delta p_{ch} = \frac{۴ f_{ch} L_{ch} \dot{m}_{ch}}{۲ \rho d_e \phi}$$

تعداد passها

$$f_{ch} = \frac{K_p}{Re^{۲}} \quad , L_{ch} = L_p \cdot N_p$$

$\rightarrow$ friction factor

از جدول (۱-۱۴) بازهم

Subject :

Year ... Month ... Date ...

$$\Delta P_{Port} = \frac{1,3\ \dot{m}_{Port}}{2\rho} N_P \qquad , \qquad \dot{m}_{Port} = \frac{\dot{M}_t}{\pi/4\ D_p^2}$$

نکته جالب : تا در مورد پوسته و لوله برای سمت پوسته مبدله نرمال و برای سمت لوله مبدله نرمال داشتیم

اما در صفحه‌ای ها فرمول برای هر ۲ دیدگاه مثل است

در جدول 16-1 ⇐ زاویه و Re را تعیین کنید سپس ربا توجه به این دو و C_h را بخوان تا J_h پیدا شود.

ΔP_{ch} + $2\Delta P_{Port}$ = افت شل ✱

↙ ورود و خروج

قرائد طراحی :

داشتیم، $Q = \dot{m} C_p \Delta t = M C_p \Delta T$

(۱) انتخاب کن که ۱/۱ است یا ۲/۲ یا ۱/۲

(۲) $Q = UA F \Delta T_{lm}$ ⇒ (UA پیدا شود) ⇐ ΔT_{lm} ، Q ، h با معلوم بودن

$UA = cte$

(۳) حالا حدس UA را بزن و A را بیاب

(۴) در نهایت با انتخاب N_p ، A ، B ، L_p ، W ، t ، d سراغ فرمول صفحه بعد برو.

Subject :

Year. Month. Date. ( )

⑤ $A = N_p \times W \times L_p$ ⇐ N_p را از اینجا بیدا کن .

④ دقت تعداد صفحه‌ها باید بیشتر باشد ۲ تا (اولی و آخری) را به این اضافه کنید و سپس آن را گرد کنید تا تعداد کانال‌ها بدست آید .

$$\text{تعداد کل بیدها} = N_{Plate} + 2 - 1$$

$$\text{تعداد بیدها برای سیال گرم یا سرد} = \frac{\text{تعداد کل بیدها}}{2}$$

⑦ $\dot{m}$ را به $\dot{M}_{ch}$ تبدیل می‌کنیم ⇐ Re ⇐ J_h ⇐ Nu ⇐ h_{cold} , h_{hot}

و ΔP_{hot} و ΔP_{cold} را بیاب .

⑧ در نهایت :

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{cold}} + r_{f,cold} + \frac{t}{k} + r_{f,hot} + \frac{1}{h_{hot}}$$

مقادیر بدست

در نهایت U را بیدا کن ← با U حدس زده مقایسه کن

و ΔP ها را هم با مقادیر مجاز مقایسه کن .

تفاوت بین ناحیه ۳ و ۴ — جهت دیگر مخالف از T بالا شروع به رویت T پایین می‌کنیم، h

تقطیر را هم اضافه می‌کنیم $T_{boiling}$ و می‌بینیم که اهمیت h_{rad} بسیار کم می‌شود و حدود ۱۵٪ می‌رسد. حاضر در مرحله ۲ هم تقطیر داریم

آیا چیز دیگری هست که از آن صرف نظر کنیم.

شکل (۱۰-۲۰) (۱۰-۱۹) ← تنش‌های برشی τ را می‌دهند، f (friction factor)، تنش‌های پایین τ_{st} هستند. خطوط محلی ربط.

هندسه‌ها متفاوت‌اند (A, B, C, ...)

در سیال‌های فشرده

سطح پیشانی: سطح کل کانال

سطح آزاد = سطح لوله‌ها − سطح پیشانی

سطح آزاد = سطح لابه‌لای لوله‌ها ← سطح آزاد برای حرکت سیال بین لوله‌ها

از روابط مختلف در ناحیه ۱ و ۲ و ۳ و ۴ ← فقط از معادله‌های داده شده در فرم استفاده کنید (زود در دسترس)

$\frac{A}{PL}$ ← ۴۹۷ صفحه

در مورد جابجایی آزاد در فصل ۷ پروفایل سرعت اصلاً نمی‌تواند وجود ضرورت نباشد و حداقل باید وجود ۲ باشد.

۱- شار حرارتی ثابت ← در امتداد صفحه T افزایش می‌یابد ← T صفحه را سلام بین T مرکز صفحه را بدون T صفحه می‌گیریم.

۲ صفحه داریم

۲- T ثابت است ← " " " شار کم می‌شود.

ضخامت لوله بستگی به فشاری که می‌خواهد تحمل کند دارد پس در انتخاب ضخامت، مقدار فشار را انتخاب می‌کنیم.

$d_i = d_o - 2$ (ضخامت)

در طراحی مبدل آرایش لوله‌ها مهم است. سیال ۲ اگر کثیف باشد حتماً باید سمت لوله باشد (اگر کثیف باشد می‌رود توی لوله)

۵۳/۱۱

اولین
دپارتمان تخصصی و جامع مهندسی شیمی
تخصصی ترین مرکز دوره های آمادگی
کنکور کارشناسی ارشد و دکتری مهندسی شیمی
"به خانه مهندسی شیمی خوش آمدید"
«مؤسسه آموزش عالی آزاد نکاره»

در مقابل هوای نیز یکی اختلاف میانگین دمای دیواره‌ها و مقدار اختلاف کمتر است. اگر هم در صورت سوال نباشد، از آن صرف نظر کنید.

جلسه هفدهم

Heat Transfer in Agitated Vessels.

در یک واحد صنعتی فرآیندی یا خنک‌کننده یا گرمادهنده یا گرمادهنده داریم که واکنش‌ها در دمای ثابت انجام شوند تا از تولید محصولات ناخواسته و... جلوگیری کنیم. پس دما را کنترل می‌کنیم. از روی دیگر برای افزایش انتقال پرتو درون مخازن یک همزن می‌گذاریم تا می‌خواهیم پدیده انتقال حرارت درون مخازن را بررسی کنیم.

با انتخاب همزن مناسب، به عوامل مختلفی بستگی دارد و در محدوده انتقال حرارت نیست. شکل هندسی همزن در پایین صفحه آمده است.

همزن‌ها دارای شکل‌های بسیار متنوعی هستند و طبق تقسیم‌بندی استاندارد ما سه نوع داریم. ردیف بالا همزن‌های توربینی، ردیف پایین سه‌تایی همزن‌های پارویی، همزن نواری مارپیچی "Helican Ribbon" و همزن لنگری (Anchor) را داریم. دو همزن پارویی و لنگری برای سیالات ویسکز مناسب‌اند. در سیالات ویسکز، سیال به شکل دوار همچنین و سایر همزن‌ها نمی‌توانند دوار را هم بزنند.

نوع پارویی / پره‌ای و توربینی: هم‌زن‌ها می‌توانند محوری (Axial) یا شعاعی باشند. توربین‌ها جریان شعاعی دارند که سیال را مثل همزن‌های تیزین هم می‌زنند. همزن‌های پارویی و پره‌ای، محوری هم می‌زنند که برای سیالات ساده‌ای کم‌ویسکوزیته و یا سیالاتی که درشان هم جدایی نمی‌کند کاربرد دارد.

(تفاوت محوری و شعاعی را نمی‌دانم):

مهمترین انواع مخزن (از نظر): ۱- نوع تغذیه سیال ، ۲- حجم مخزن ، ۳- سایر ملاحظات (از جمله وجود دیواره

متحرک داخل، خوردگی یا عدم خوردگی، هزینه و ...)

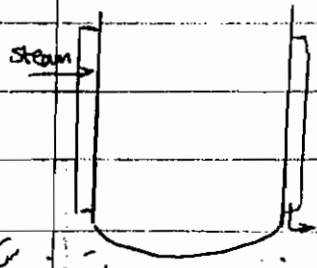
در شکل پایین صفحه ۱۵ (شکل ۲)، سطوح انتقال حرارت را می‌بینیم. حال یک مخزن را هم گرم می‌کنیم یا سرد: این

کار از طریق Jacket (دوجداره) یا Coil (پیچ) صورت می‌گیرد. در شکل ۲ روش بالا ۴ نوع Jacket و

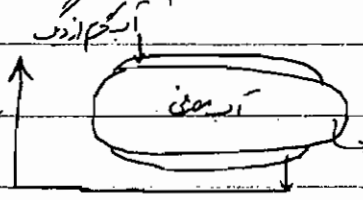
روش پایین ۲ نوع Coil را نشان می‌دهد.

ساده‌ترین Conventional Jacket است (الف). در این حالت بخار تولید شده در بویلر یا منبع مخزن مربوطه در گرمای

آن (mih_{fg}) را مخزن وارد می‌شود و از پایین جدا Condensate بیرون می‌آید.



در این حالت بجای Steam از سایر سیالات هم می‌توان استفاده کرد.



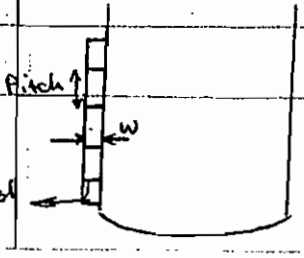
دیگ نمونه در خانه.

در این حالت برای سیال داخل مخزن باید forced convect داشته باشیم که مربوط به حالت شکل ۱۷ است.

سیال گرم یا سردکننده (بخار داغ یا آب سرد) در این حالت یک حرکت عمودی دارد (یا بالا می‌رود یا پایین می‌آید) اما یک

حرکت عمودی صرف نیست. سرعت کم و Re کم و Nu کم و h کم و انتقال حرارت کم می‌شود. در این حالت‌ها یک پره‌ای

تعبیه می‌کنند تا سیال مجبور شود حرکت چرخشی و حلزونی داشته باشد و در نتیجه سرعت بیشتر شود. فاصله این پره‌ها pitch است.

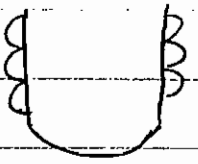


منابع مستقیم ~

half pipe : اگر یک لوله را نصف کنیم و آن را در مبدل قرار دهیم یک هیت half pipe به دست می‌آید.

مقطع جانبی هیت‌های نیم لوله‌ای. مزیت این هیت‌ها نسبت به حالت قبلی این است که لوله‌های مقابل تحمل فشارهای بالاتری

دارند چون سطح مقطع ↑ است.

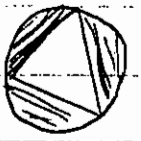


یک عیب دیگر هیت قبلی این است که در هنگام ساخت ابتدا باید baffel ها را در مبدل قرار داد و بعد لایه دوم و هیت

را جوش زد. پس بالاجبار یک فاصله‌ای بین هیت و baffel هست پس بخشی از سیال به طور عمودی پایین می‌رود و عبور نمی

می‌شود (bypass ← half pipe مشکل bypass دارد)

Dimpel : نحوه قرار گرفتن لوله به صورت سه بُعدی است.



لوله کج شده می‌شود پس سرعت ↑ ← انتقال حرارت ↑

هزینه جوشکاری half pipe بیشتر از spinal baffel است.

؟! روش دیگر این است که به جای نیم لوله گذاشتن، بیاییم لوله گذاشتیم که جای half pipe با حدود ۲/۳ کمتر سطح مقطع آن مسطح است

فرض کنید مقداری آب جریان می‌خواهیم بیاریم با توجه به فشار و شرایط فشار و هزینه چه‌طور آن را تأمین کنیم با دمای آب از 20 به 40 برسد.

روش‌های کلی انتقال حرارت در مبادلات حرارتی

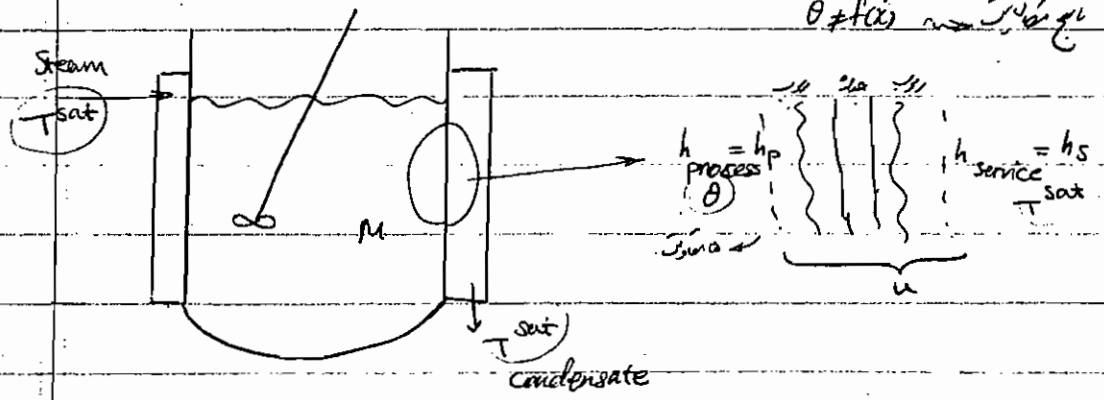
سوال: سیال مورد نظر isothermal است یا خیر؟ سیال isothermal مثل بخار آب در حال تغییر فاز است که با T^{sat} است.

و یا T^{sat} نشده آب است یا بخار و حال تغییر فاز نیست که T=cte هم که nonisothermal است.

یکی از مثال‌های رایج داخل جلسه - کولر این‌که اگر آب‌ها لوله‌ها نوع سیال سردی و سیال را عایق بهم داخل لوله‌ها اضافه جلسه اگر دیواره بیرونی لوله‌ها نوع سیال سرد باشد

Isothermal Service Fluid: $\theta = f(t)$ و θ ها صدی فرض است ،

فرض ایده‌آل است ← تابع مکان نیست $\theta \neq f(x)$



$$q = MC_p \frac{d\theta}{dt} \quad , \quad q = UA(T^{sat} - \theta) \Rightarrow \frac{d\theta}{\theta - T^{sat}} = -\frac{UA}{MC_p} dT$$

M ثابت است با فرض ثابت بودن C_p :

$$\int_{\theta_i}^{\theta} \frac{d\theta}{\theta - T^{sat}} = -\frac{UA}{MC_p} \int_0^t dt$$

$$\ln \frac{\theta - T^{sat}}{\theta_i - T^{sat}} = \frac{-UA}{MC_p} t$$

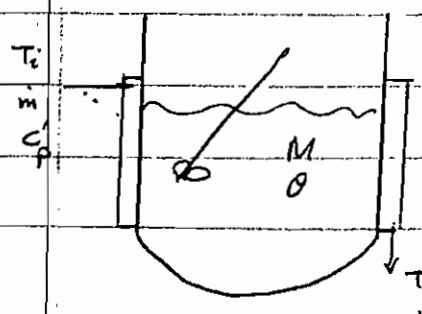
$$\frac{\theta - T^{sat}}{\theta_i - T^{sat}} = e^{\frac{-UA}{MC_p} t}$$ Isothermal

$\downarrow t \leftarrow \uparrow$ حجم $\qquad \downarrow t \leftarrow$ حجم $A \uparrow$ (بهتر ↑ بزرگتر)

$\uparrow t \leftarrow \uparrow$ حجم ← حدی فرض

Non-Isothermal Service Fluid:

$\frac{\text{جرم}}{\text{زمان}} = \dot{m}$ ، جرم $= M$



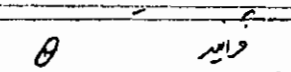
$\theta = f(t)$ $\qquad$ 1) $q = MC_p \frac{d\theta}{dt}$ $\qquad$ سیال گرم‌شونده

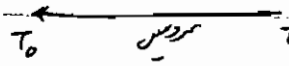
$\theta \neq f$(مکان)

$T_o = f(t)$ $\qquad$ 2) $q = \dot{m} C_p' (T_i - T_o)$ $\qquad$ سیال سردکننده

حالت دوم: مخزن دو جداره است که جریان خروجی ایزوترم است (θ در همه نقاط ثابت است)

3) $q = UAF\Delta T_{lm}$





چون معادل یک مبدل ثابت است ← $F=1$ ، $\Delta T_{lm} = \dfrac{(\theta - T_i) - (\theta - T_0)}{\ln \dfrac{\theta - T_i}{\theta - T_0}}$

$\xrightarrow{2=2}$ $\dot{m} C_p' (T_i - T_0) = UA \dfrac{T_0 - T_i}{\ln \dfrac{\theta - T_i}{\theta - T_0}}$

$\rightarrow \ln \dfrac{\theta - T_i}{\theta - T_0} = \left(-\dfrac{UA}{\dot{m} C_p'}\right) \rightarrow \dfrac{\theta - T_i}{\theta - T_0} = e^{\frac{-UA}{\dot{m} C_p'}}$

$\rightarrow \theta - T_0 = \dfrac{1}{e^{\frac{-UA}{\dot{m} C_p'}}} (\theta - T_i) = e^{\frac{UA}{\dot{m} C_p'}} (\theta - T_i) = \lambda (\theta - T_i)$

$\rightarrow \boxed{T_0 = \theta - \lambda (\theta - T_i)}$

T_0 تابع زمان است معادله این رابطه وابستگی T_0 به زمان توسط θ تأمین می‌شود.

$\xrightarrow{1=2}$ $M C_p \dfrac{d\theta}{dt} = \dot{m} C_p' [T_i - \theta + \lambda\theta - \lambda T_i]$

$M C_p \dfrac{d\theta}{dt} = \dot{m} C_p' [T_i - \theta][1 - \lambda]$

λ و M و $\dot{m}$ و C_p و C_p' ثابت اند

$\dfrac{d\theta}{T_i - \theta} = (1-\lambda) \dfrac{\dot{m} C_p'}{M C_p} dt$

β

$\int_{\theta_i}^{\theta} \dfrac{d\theta}{T_i - \theta} = \beta \int_0^t dt$

$$\rightarrow \ln \frac{T_i - \theta}{T_i - \theta_i} = -\beta t$$

$$\rightarrow \boxed{\frac{\theta - T_i}{\theta_i - T_i} = e^{-\beta t}}$$

β عدد ثابت است

طبق رابطه اخیر : $t \to \infty \Rightarrow \theta \to T_i$ یعنی دمای خروجی با دمای سیال برابر می‌شود

$$T_o = \theta + \lambda(T_i - \theta) \rightarrow T_o = T_i$$

یعنی کامل شدن S.S می‌شود

دوتا از این مثال‌ها را نوشته که فعلاً ادامه نمی‌دهیم

مثال ← برای گرم کردن آب از دمای $20^\circ C$ به $80^\circ C$ از بخار آب اشباع در دمای $100^\circ C$ استفاده شده است. دبی آب داخل لوله 1 ton می‌باشد. اگر فرض کنیم که ضریب کلی انتقال حرارت $1000 \frac{W}{m^2 C}$ باشد، سطح تبادل مبدل را برای شرایط زیر بدست آورید.

الف) مبدل از نوع لوله‌ای که بخار آب از داخل لوله و آب از خارج لوله عبور می‌کند.

ب) مبدل از نوع پوسته و لوله که بخار آب از پوسته و آب از داخل لوله عبور می‌کند.

ج) مبدل از نوع پوسته و لوله که بخار آب از پوسته و آب از داخل لوله عبور می‌کند. با این تفاوت که آب در دمای $160^\circ C$ از مبدل خارج می‌شود.

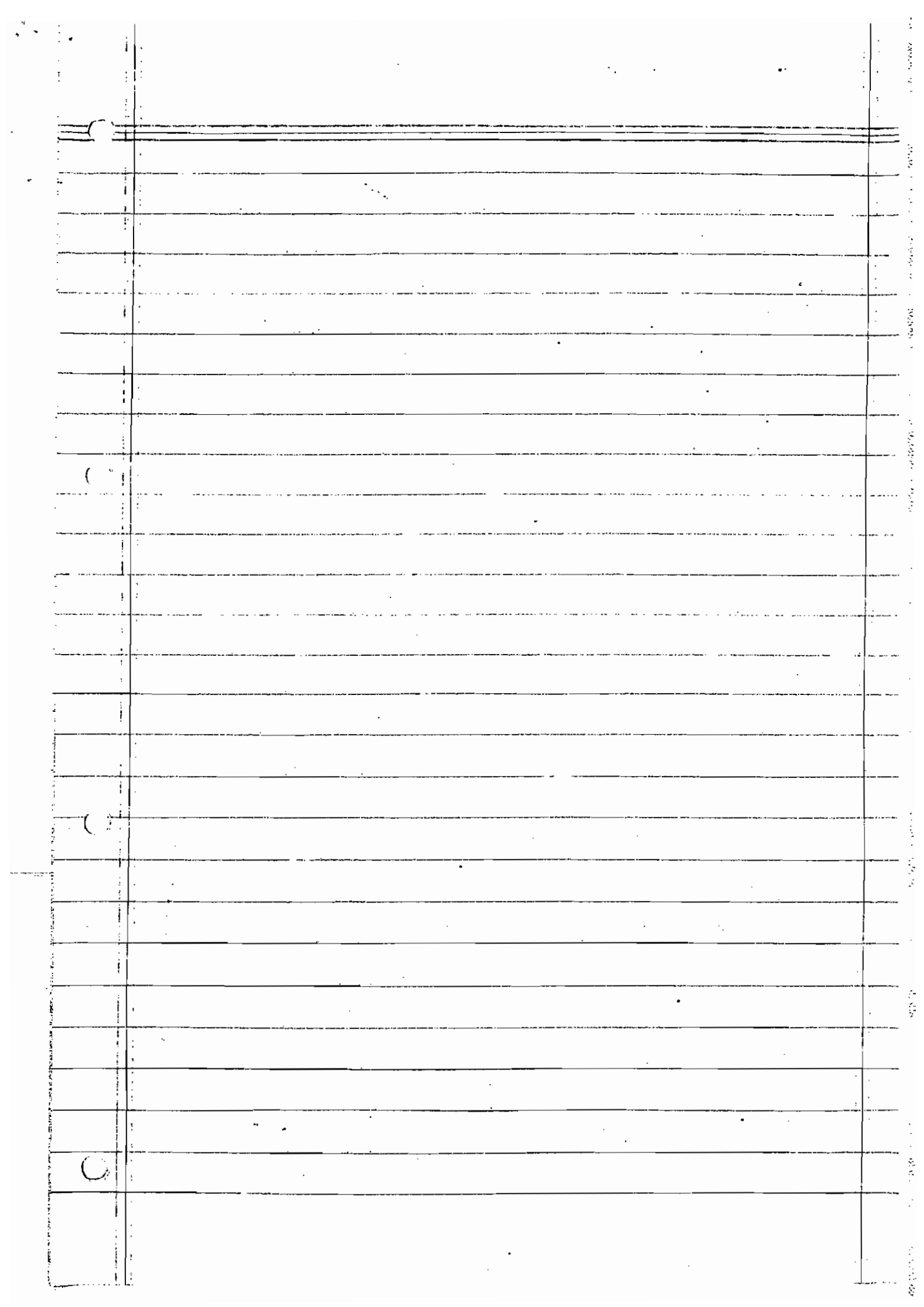
د) مبدل از نوع پوسته و لوله که بخار آب از پوسته و آب از داخل لوله عبور می‌کند. با این تفاوت که ضریب کلی انتقال حرارت نصف حالت قبل می‌شود.

حل: الف) ابتدا باید دبی لازم برای آب را بدست آوریم. ب) هم مقدار T_o و T_i را حساب می‌کنیم تا ΔT را بدست آوریم.

$C_{P_{water}} = 4200 \frac{J}{kg\,^\circ C}$ مراجعه

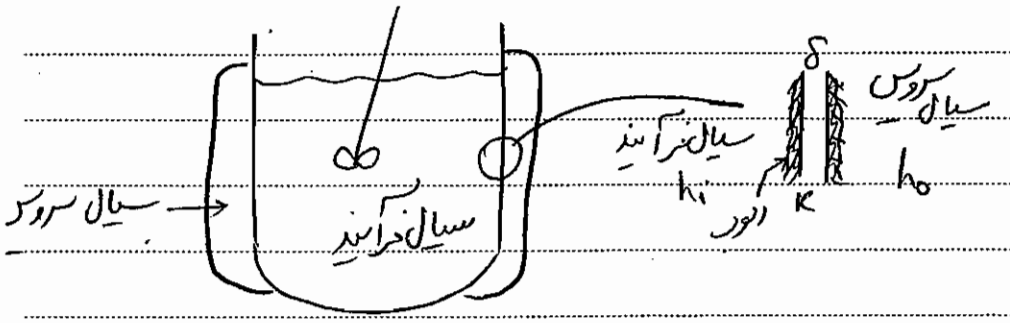
$C_{P_{oil}} = 2100 \frac{J}{kg\,^\circ C}$

۵۴/۱۱

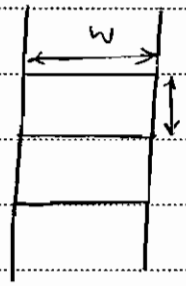


حسبی ۸۸/۲/۱۴
ضریب کلی انتقال حرارت به چه چیزهایی دارد؟

Jacketed vessels:



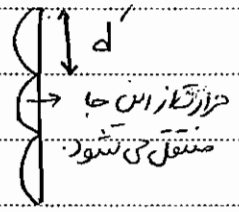
صفحه آخر پلی کپی (ص ۱۱):
h_i ، h_o چقدر است؟



Sperial Baffle

قطر هیدرولیکی $d_e = \frac{4Pw}{P}$

قطر سیالی $de = \frac{4Pw}{2(P+w)}$



Half Pipe

قطر هیدرولیکی $de = \frac{4(\frac{1}{2}\pi/4 d'^2)}{d'}$

قطر سیالی $de = \frac{4(1/2\ \pi/4 d'^2)}{(d' + \frac{1}{2}\pi d')}$

Half Pipe

نوع همزن چیست؟ توربینی
نظر همزن و ارتفاع همزن چیست؟ برای این منظور چون نوع زیر است همزن استاندارد تعریف شده است.

ارتفاع مایع در مخزن / قطر همزن $\frac{Z}{D_T} = 1$ ، قطر همزن / قطر مخزن $\frac{D}{D_T} = \frac{1}{3}$ ص ۱۱

Subject:

Year. Month. Date. ( )

$$Nu = \frac{h_i D_T}{K} = C\, Re^{0.67}\, Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14}$$

تعریف Re در این جا متفاوت است چون داخل مخزن سرعتی نداریم.

$$Re = \frac{\rho N D^2}{\mu}$$

N دور در ثانیه

مقادیر مختلف C هم در صفحه ۱۱ نوشته شده است.

گاهی در صنعت داخل مخزن را بوشش شیشه ای یا نیرامیکی می دهند چرا؟ به علت خوردگی.

وقتی شیشه ای باشد انتقال حرارت بهتر است یا بدتر؟ حالا چرا اصف؟

(چرا انتقال حرارت جوش (داخل مخزن) بهتر می شود؟)

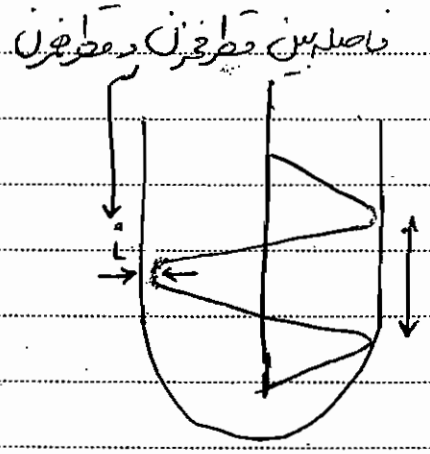
جوش سیال روی شیشه سر می خورد. درحالیکه ضریب اصطکاک فلز بیشتر است، باعث می شود سیال روی فلز اوی ها را بوجود آورده و انتقال حرارت را زیاد کند.

straight paddle = پارویی

Anchor = لنگری ← تغییر می کند Re با توجه به C_D و a

Helical = مارپیچی ← برای مواد با ویسکوزیته های بالا است.

دو پارامتر e و a دارد.



مخازن کویل دار:

h_o : مربوط به سیال فرآیند است

h_i : داخل لوله ـ کویل ـ مارپیچ

PAPCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

h_i کویل چگونه بدست می‌آید: ص۱۱.

h_i مستقیم یعنی چه؟ از کجا بدست می‌آید؟ مثلاً از فصل ۶ بدست می‌آید.

d_i : قطر داخلی لوله‌ای که کویل را از آن می‌سازیم

D_c : قطر کویل (کویل چیست؟ مانوبری درازی داریم که آن را مارپیچی کرده‌ایم. قطر این مارپیچ D_c است.)

اگر d_c خیلی بزرگ باشد، ضریب تصحیح ($3.5 \frac{d_i}{D_c}$) قابل حرف نظر است.

برای فحزن استاندارد $D_c = \frac{1}{2} D_T$

گاهی بعد مشخصه D_T و گاهی بعد مشخصه d_o است.

آیا برای مخازن کویل دار از فحزن نگری استفاده می‌شود؟ چرا در رابطه، فرمولی برای فحزن نگری نداریم؟

این‌ها (نگری و مارپیچی) هیچ‌گاه با کویل استفاده نمی‌شوند.

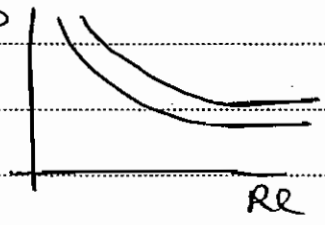
در درس مبدل‌های انتقال حرارت و افت فشار را داشتیم. الآن چه مباحثی داریم؟

در سمت سیال بیرون h را در مقابل ΔP داریم. چون سیال بیرون داخل صفحه یا کویل حرکت می‌کند.

برای سیال فرآیند h را در مقابل P داریم. P چیست؟ توان فحزن.

اگر سرعت فحزن را زیاد کنیم، h زیاد می‌شود و هزینه‌ی آن را باید در P پرداخت کنیم.

یک کی جدید: فورانی: عدد Re فحر عمودی: عدد توان



هر منحنی برای یک طراحی به خصوص از فحزن است.

Subject:
Year. Month. Date. ( )

معمولاً مادر مسئله Re بالاکه عدد توان مقدار ثابتی می‌شود کار می‌کنیم.
هرکاری کنیم که h زیاد شود P (توان مصرفی) زیاد می‌شود. این رابطه خطی نیست!

← اگر کاری کنیم که h دو برابر شود، P تقریباً ۸ برابر می‌شود.

حال: افت فشار داخل کویل چگونه محاسبه می‌شود؟
محاسبه‌ی افت فشار در کویل یا زانویی:
دو حالت پیش می‌آید: شکل ۷:

انحنا: نسبت $\frac{r}{d}$. دایره‌ی بالای سمت چپ شکل زانویی را کشیده است.
d: قطر لوله‌ای که زانویی را بوجود آورده.
r: شعاع زانویی.
سطح داخلی لوله
اصطکاکی که روی بدنه لوله اتفاق می‌افتد: Length Resistance اما لوله صاف نیست و همین باعث Bend Resistance می‌شود.
Bend R + Length Re = Total Resistance

$\frac{L}{De}$ را در دل گوشه‌ی سمت راست شکل می‌نویسیم.

$$\Delta P = 8 f_f \frac{L}{De} \frac{\rho v^2}{2}$$

↳ (یک زانویی) افت فشار در زانویی ۹۰°.

یک کویل
مثلاً ۱۰ حلقه دارد و هر حلقه معادل ۴ زانویی است ⇐ یک کویل ۱۰ حلقه‌ای، ۴۰ تا زانویی دارد.

$$\Delta P_{\text{کویل}} = 40 \Delta P$$

PAPCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

مثال) لوله ای است به طول 100 m که سیالی درون آن جاری است. مطلوبست افزایش ضریب انتقال حرارت و نیز افت فشار در صورتی که این لوله به صورت یک کویل (لوله مارپیچ) به قطر 2m درآورده شده باشد. شعاع داخلی لوله 2 cm است.

$d = 4\,cm$

$D_c = 2m$ حل)

$$\frac{h_{coil}}{h_{straight}} = 1 + 3.5\frac{d_i}{D_c} = 1 + 3.5\frac{0.04}{2}$$

$$\Rightarrow \frac{h_{coil}}{h_{straight}} = 1.07 \Rightarrow$$ با ایجاد کویل 7٪ افزایش انتقال حرارت می‌شود

(چون کویل آشفتگی ایجاد می‌کند)

$$\frac{\Delta P_{coil}}{\Delta P_{straight}} = \frac{(L/D_e)}{(L/d_i)}$$ سرعت و $\dot{m}$ ثابت و به ثابت f_D ثابت:

$$L/d_i = \frac{100}{0.04} = 2500$$

حال $\frac{L}{D_e} = ?$ $\Rightarrow \frac{r}{d} = \frac{D_c/L}{d} = \frac{1}{0.04} = 25 \xrightarrow{Fig\,7} P = 10$

$\frac{L}{D_e} = 40$ ← یک زانویی (از روی برون‌یابی)

$P_{one\,loop} = \pi D_c = 6.28\,m$ چند تا زانویی داریم که چند تا حلقه داریم؟

$N_{loop} = \frac{100}{6.28} \simeq 14$: تعداد حلقه‌ها

↳ اگر کمتر شد یعنی ورود و خروج در یک راستا نیست

$N_{90^\circ Bend} = 14 \times 4 = 44$

↳ هر حلقه شامل 4 تا زانویی است

$$\frac{L}{D_e} = 44 \times 40 = 2840 \Rightarrow \frac{\Delta P_{coil}}{\Delta P_{straight}} = \frac{2840}{2500} \simeq 1.03$$

PAPCO

مثال) مخزنی است به قطر ۲ متر مجهز به یک جوش ملخی ۳ تیغه که با سرعت ۱۵ دور در ثانیه دوران دارد. درون مخزن سیالی است با خواص فیزیکی شبیه آب، در دمای 70°C. سطح انتقال گرما در این تجهیز از نوع کویل به قطر داخلی 4cm و قطر کویل استاندارد است. درون کویل آب با دمای 20°C وارد و با 35°C خارج می‌شود. ضریب کلی انتقال حرارت برای این سیستم به عنوان تابعی از سرعت دوران (10 - 30 و 50 دور بر ثانیه) را محاسبه کنید.
(از ضرایب رسوب صرف نظر شود. کویل مسی با جداره نازک است.)

سرعت آب داخل کویل = 1/5 m/s.

حل) مخزن و جوش استاندارد است.

یعنی در خلری h، حرارت رسانش و رسوب حذف می‌گردد و فقط hi و ho را می‌خواهیم.

مقاومت به انتقال حرارت بیشتر در کجاست؟ سمت آب یا داخل مخزن؟

PAPCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

جلسه ۵ — ۹۶/۲/۱۶

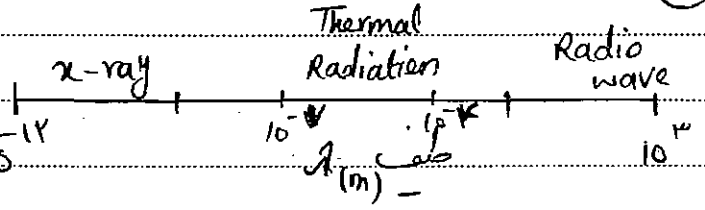
فصل هشتم:

Radiation Heat Transfer:

هرگاه دمای بالاتر از $500^\circ K$ داشته باشیم، این نوع انتقال حرارت محسوس می‌شود. البته انتقال حرارت تابشی همیشه هست.

هرگاه جسمی دمایش بیش از صفر کلوین باشد انرژی تابش می‌کند.
البته در دماهای پایین اهمیت این پدیده کم است.
این تشعشع به صورت امواج الکترومغناطیس است و در مقابل طیف الکترومغناطیس با رابطه‌ی $c = \lambda f$ تعریف می‌شود.

f: فرکانس λ: طول موج c: سرعت انتشار موج الکترومغناطیس



Thermal Radiation { UV, Light, IR }

به لحاظ مباحث فیزیکی و همچنین به لحاظ مباحث ریاضی آن‌چه می‌توان در مورد x-ray نوشت با آن‌چه در مورد Thermal radiation می‌توان نوشت یکسان است. آن‌چه متفاوت است زمان لحظ است. ← در واقع لحظ‌های مختلف در مقابل طول موج‌های مختلف چه زیباری از خود نشان می‌دهند.

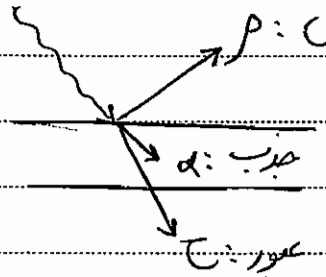
بین 10^{-12} تا 10^{3} یا ۱۵ مرتبه بزرگی داریم. که ۳ واحد آن ($\frac{3}{15} = 20\%$ از کل طیف الکترومغناطیس) مربوط به Thermal Radiation است.

Subject:
Year. Month. Date. ( )

Radiation Properties:

دیوار (جسمی که از آن انرژی عبور می‌کند)
محیط (جسمی که به " می‌کند)

⇐ دیوار حالت خاصی از محیط است.



کسری از انرژی مستقل منعکس می‌شود، مقداری جذب شده و مقداری عبور می‌کند:

$$\rho + \alpha + \tau = 1$$

شخص پشت دیوار نور جراغ قوه و گرمای بخاری برقی را حس می‌کند ⇐ ضریب عبور برای دیوار شیشه‌ای
اما از طرفی امواج رادیویی از دیوار عبور می‌کند.
⇐ محیط‌ها رفتارهای متفاوتی در مقابل طول موج‌های مختلف دارند.
اما اگر جنس دیوار شیشه‌ای باشد، اوضاع پیچیده‌تر است ⇐

$$\rho_\lambda + \alpha_\lambda + \tau_\lambda = 1$$

ρ_λ : Spactral Reflectivity
α_λ : " Absorptivity
τ_λ : " Transmitivity

بررسی معادلات تشعشع به صورت طیفی بسیار دشوار است ⇐ تا جایی که ممکن است سعی می‌کنیم تا از این وابستگی صرف نظر کنیم ⇐ رفتار دیوار برای هر طول موج هاکسان است ⇐ منطقی نیست مگر اینکه فرض کنیم دارایم راجع به ۲۰٪ صفحه‌ی نیل صحبت می‌کنیم.
⇐ در محدوده‌ی ۲۰٪ می‌توان از طیفی بودن خواص فیزیکی صرف نظر کرد (رفتار مساله تقریبی به ازای طول موج‌های گوناگون).

هیچ راه‌کاری برای محاسبه‌ی خواص تابشی وجود ندارد.

در مورد دیوارها

خواص تابشی به ضخامت μm ۱ اول بستگی دارد. (چند ردیف اول دوکلوله هم است و عمق هم نیست)
↳ $\tau = 0$

در مورد محیط‌ها: عمق محیط بسیار مهم است.

مثلاً خواص تابشی میزهوه‌ای طوری با خواص تابشی آن دقتی یک لایه رنگ مشکی روی آن برنیم متفاوت است.

Plancks Distribution Law:

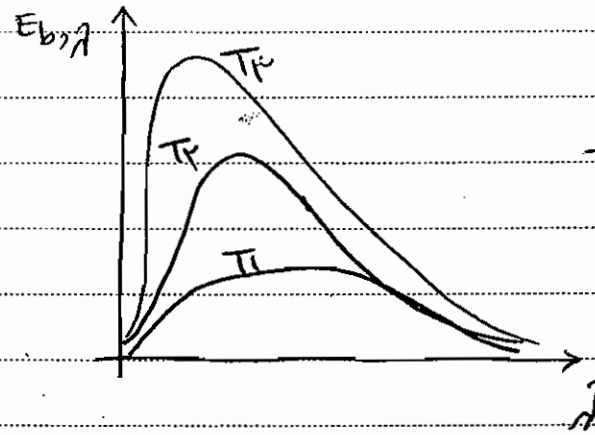
این رابطه اساس بنای تشعشع است.

$$E_{b,\lambda} = \underbrace{\frac{C_1 \lambda^{-5}}{e^{C_2/\lambda T} - 1}}_{\text{spectral black body}}$$

λ: طول موج (μm) | T: دما ($^\circ K$)
C_1: عدد ثابت
C_2: عدد ثابت

Emissive power ($w/m^2 \mu m$): توان تابشی طیفی جسم سیاه

if $T = 0^\circ K \Rightarrow E_{b,\lambda} = 0 \Rightarrow$ در صفر مطلق توان تابشی صفر است.



$T_1 < T_2 < T_3$

نتایج معادله‌ی Planck:

۱) با افزایش دما قطر Max منحنی (طول موج‌های تابش) به سمت λ کمتری می‌رود.
۲) " " سطح زیر منحنی افزایش می‌یابد ← هرچه دما بیشتر باشد، توان تابشی میزان تشعشع بیشتر است.

Subject:
Year. Month. Date. ( )

⇐ می‌توان از معادله‌ی صفحه قبل انتگرال یا مشتق گرفت.

انتگرال‌گیری:

$$E_b = \int_0^\infty E_{b,\lambda}\, d\lambda = \int_0^\infty \frac{c_1 \lambda^{-5}}{e^{c_2/\lambda T} - 1} \Rightarrow$$

$$E_b = c_1 T^5 \int_0^\infty \frac{d\lambda}{(\lambda T)^5 \left[e^{c_2/\lambda T} - 1\right]} \qquad R = \lambda T, \quad dR = T\, d\lambda$$

$$E_b = c_1 T^5 \int_0^\infty \frac{dR}{T R^5 \left(e^{c_2/R} - 1\right)} = \left[c \int_0^\infty \frac{dR}{R^5 \left[e^{c_2/R} - 1\right]}\right] T^4$$

$$\Rightarrow \underline{E_b = \sigma T^4} \qquad \sigma: \text{ثابت استفان - ولتزمن}$$

$$\sigma = 5{,}677 \times 10^{-8} \ \mathrm{W/m^2 K^4}$$

مشتق‌گیری:

$$\frac{dE_{b,\lambda}}{d\lambda} = 0 \Rightarrow \underline{\lambda_{Max} T = 2898{,}6 \ \mu m.K}$$

wein's Displacement law

λ_{Max}: طول موجی که در آن انرژی Max است ← با زیاد شدن T، λ_{Max} کم می‌شود.

یکی از مهم‌ترین کاربردهای معادله‌ی wein، اندازه‌گیری درجه حرارت است. (مثل درجه حرارت خورشید)

Black body:

جسم سیاه یعنی جسم ایده‌آل.

جسم ایده‌آل یعنی چه؟ ۱) تشعشعی که این جسم می‌تابد دقیقاً طبق معادله‌ی planck است.

یعنی حداکثر ممکن انرژی را از خود ساطع کند.

PaPCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

۲) انرژی که به روشنی می‌افتد تماماً آن را جذب کند. $\alpha=1,\ \rho=0,\ \tau=0$

چگونه جسم غیرسیاه را تعریف کنیم؟

ضریب نشر جسم: $\varepsilon_\lambda = \frac{E_\lambda}{E_{b\lambda}}$: ایده‌آل

↳ Spectral Emissivity

$0 \le \varepsilon_\lambda \le 1$ ← ایده‌آل

اگر در محدوده‌ی λ ۲۰ باشد، می‌توان $\varepsilon_\lambda = 1$ با تقریبی از λ صرف نظر کنیم (ربطی به طول موج ندارد)

انرژی تابشی جسم غیرسیاه: $E = \varepsilon \sigma T^4$

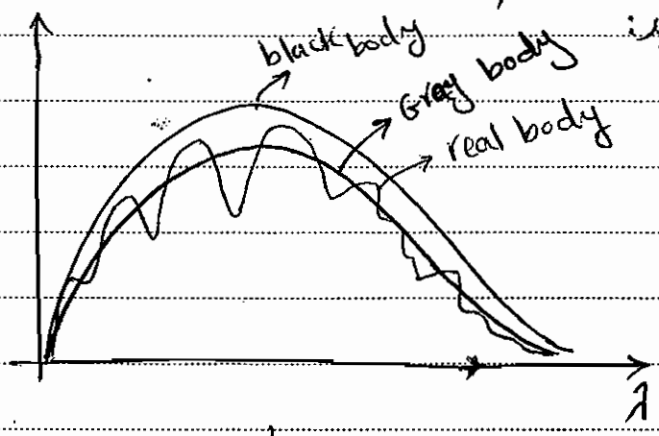
ε که ضریب نشر جسم است، با آن ρ، τ، α چه ارتباطی دارد؟

Kirochoff Rule:

$\varepsilon_\lambda = \alpha \Rightarrow$ (برای اجسام دیواره‌ای $\tau = 0$)

⇐ یک جذب کننده‌ی خوب یک نشر کننده‌ی خوب هست.

* اجسام و سطح‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند:



- black body: $\varepsilon = 1$
- Grey body: $\varepsilon < 1,\ \varepsilon \neq f(\lambda)$
- Real body: $\varepsilon < 1,\ \varepsilon = f(\lambda)$

در واقعیت اجسام Real body هستند ولی می‌توان با تقریب خوب آن‌ها را Gray body، حتی black body در نظر گرفت.

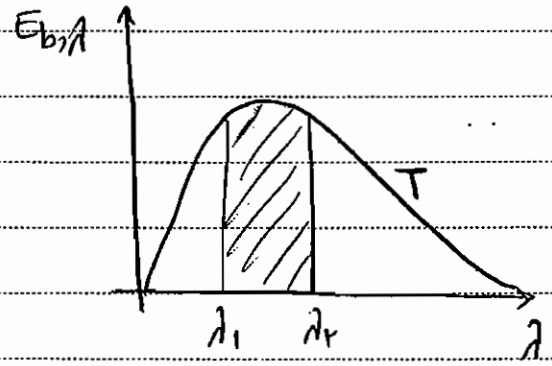
در خارج از جو زمین، خورشید Real body است و در روی سطح زمین خورشید Gray body

PAPCO

Subject:

Year. Month. Date. ( )

Radiation Function — توابع تابش



در بسیاری از مسائل علاقه‌مند هستیم بدانیم که قطعه در طول موج λ_1 و λ_2 چه انرژی منتشر می‌کند.

مقادیر $E = \sigma T^4$ در حالت کلی $\int_0^\infty \dots d\lambda$ برابر است اما حالا $\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \dots d\lambda$ را می‌خواهیم که این انتگرال‌گیری حل عددی دارد.

جدول ۱-۸ ضمیمه ۸: ما را از انتگرال‌گیری عددی بی‌نیاز می‌کند. شبیه نوارهای هاسلر است.

$E_{b\lambda} \to \int_0^\lambda \dots d\lambda$ حاصل انتگرال‌گیری $\int_0^\infty \dots d\lambda$

$E_{b\lambda} - \lambda T$ / σT^4

λT (μm·K)	وسط
۱۰۰۰	۰٫۰۰۰۳۲
⋮	⋮
۵۰۰۰۰	۰٫۹۹۹۹۱۰

پس $\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} d\lambda$ را برابر $\int_0^{\lambda_2} d\lambda - \int_0^{\lambda_1} d\lambda$ برابر درجه‌دار هم کم می‌کنیم

نوار ۶-۸ هم ترسیم جدول است.

مثال) سیم پیچ یک لامپ برقی به توان 100 W دارای ابعاد قطر 50μm و طول 1m است. دمای این سیم پیچ را بدست آورید. فرض کنید سیم مانند جسم سیاه عمل کند.

سیم پیچ درون حبابی شیشه‌ای با خواص تابشی زیر قرار دارد. مشخص کنید چه کسری از انرژی تابش یافته از سیم پیچ جذب حباب شیشه‌ای می‌شود.

(۲)

حل

Subject:

Year. Month. Date. ( )

glass bulb:

$\lambda(\mu m)$	α	τ
$0-3$	$0/05$	$0/95$
$3-10$	$0/8$	$0/2$
$10-\infty$	$0/1$	$0/9$

یعنی بین $3<\lambda<10$، 80% را جذب می‌کند:

خرض α و ضریب انتشار ε برابر است.

دما را چگونه بدست آوریم؟

فرض کروی بسته سیاه است: $E_b = \left(\frac{100}{A}\right) = \sigma T^4$ $\quad w/m^2$

$A = \pi d_0 l$ $\quad 1/57 \times 10^{-4}$

$\Rightarrow T = ?$

$\Rightarrow \frac{100}{1/5 \times 10^{-4}} = 5/67 \times T^4 \Rightarrow T = 1823/99$

$\Rightarrow \int_0^3 \ldots d\lambda = ?$, $\int_0^{10} \ldots d\lambda = ?$ $\Longrightarrow$ تفاضل $\int_3^{10} \ldots d\lambda = ?$

($\int_0^{\lambda} d\lambda$ ضرایب $\int_0^{\lambda} d\lambda$ برابر یک است)

$0-3 \longrightarrow 3 \times 1823/99 = 5472/98 \longrightarrow \frac{\quad}{\quad} = 0/49$

$0-10 \longrightarrow 10 \times 1823/99 = 18239/93 \longrightarrow \int_0^{10} \ldots d\lambda = 0/9816$

$0-\infty \longrightarrow E = \sigma T^4 = 5/67 \times 10^{-8} \times 1823/99 = 1/037 \times 10^{-4}$

$0-3: \int_0^3 \ldots d\lambda = 7/16 \times 10^{-5}$, $\int_0^{10} = 1/018 \times 10^{-4}$

$3-10 = 1/018 \times 10^{-4} - 7/16 \times 10^{-5} = 3/025 \times 10^{-5}$

$10-\infty = 1/9 \times 10^{-6}$

سهم سدوس: $0-3 \longrightarrow 7/16 \times 10^{-5} \times 0/95 = 6/802 \times 10^{-5}$

$3-10 \longrightarrow 3/025 \times 10^{-5} \times 0/2 = 6/05 \times 10^{-6}$

$10-\infty \longrightarrow 1/9 \times 10^{-6} \times 0/9 = 1/71 \times 10^{-6}$

$\longrightarrow \alpha_{\text{کل}} = 7/578 \times 10^{-5} \Rightarrow \alpha_{\text{کل}} = \frac{7/578 \times 10^{-5}}{1/037 \times 10^{-4}} = 0/7305$

P4PCO

Subject:

Year. Month. Date. ( )

PAPCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

جلسه ی ۱۹ ام ۸۸/۲

می شود F_{ij} را از طریق روابط تجربی بدست آورد.

مثلاً دیوار 1 و 2 داریم. یک آلان روی هر دیوار انتخاب کرده و موقعیت هندسی آن دو را نسبت به هم در نظر می گیرند و انتگرال دو گانه می گیرند. (خیلی پیچیده) ← برای چند تا از هندسه های متداول تر این معادلات را ترسیم کرده اند.

شکل های ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶ ← ضرایب شکل را نشان می دهند.

این شکل ها تئوری هستند و جواب معادلات آن ها در جدول ۲-۸ است.

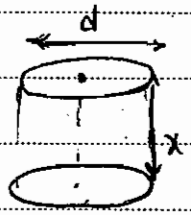
شکل شماره ی ۱۲: ترسیم معادلات جدول ۲-۸ (تئوری):

هندسه ی دو صفحه ی موازی را نشان می دهد (متناهی و نیمه نامتناهی):

یک طول و عرض آن ها با هم مساوی است و ارتفاع متغیر است.

خور عمودی: F_{12}

دو صفحه ی مستطیلی موازی هم مرکز، هم محور، هم اندازه.



شکل شماره ی ۱۳: دو دایره ی هم مرکز، هم محور به قطر d و فاصله ی x

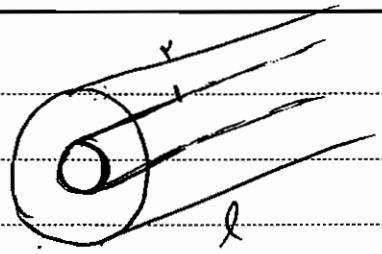
شکل شماره ی ۱۴: دو تا دیوار عمود بر هم.

" " ۱۵: دو تا استوانه ی هم مرکز. دو تا شکل دارد:

Subject:
Year. Month. Date. ( )

سطح ۱: سطح خارجی استوانه کوچک
سطح ۲: " " " بزرگ

الف)



چون استوانه‌ی کوچک نمی‌تواند خودرا ببیند $F_{11} = 0$:

F_{12} : مقدار رسیدن سیگنال به طول l دارد.

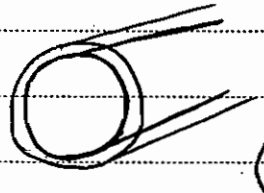
$(F_{12}=1)$ کسری که از ۱ به بیرون می‌رود قابل اغماض است وقتی $l \to \infty$: if

۱ به بیرون هم تشعشع دارد و بیرون راهم می‌بیند : خروج ← if

$F_{22} \neq 0$

۲ خودش را می‌بیند

F_{22} وقتی تر ایده‌آل می‌شود؟



هرچه قدر ۱ بزرگتر باشد (دایره‌ی بزرگتر باشد)، F_{22} کمتر می‌شود.

(اگر لوله دوجداره باشد، بین ۱ و ۲، بین ۲ و ۲، انتقال حرارت رسانشی وجود دارد.)

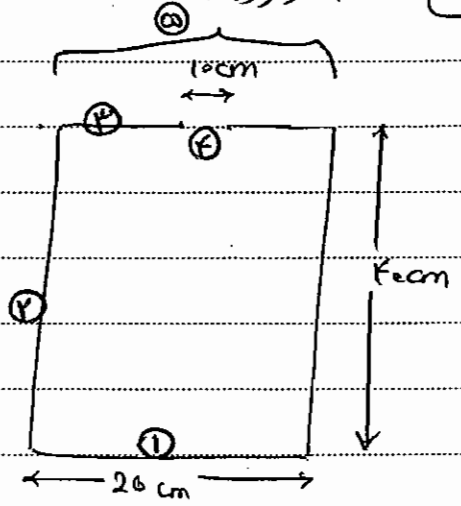
شکل ۱۶: دو تا دایره‌ی هم مرکز با شعاع های مختلف داریم.

در شکل ۱۵، چه زمانی $F_{22}=1$ ؟ اگر دو سطح هم مرکز است که کره بزرگ داخلی دارد.
(البته در صورتی که $l \to \infty$).

* * *

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{N} F_{ij} = 1 & : \text{Summation Rule} \\ A_i F_{ij} = A_j F_{ji} & : \text{Reciprocity Rule} \end{cases}$$

یک کوره‌ی استوانه‌ای داریم: به قطر ۲۰cm و ارتفاع ۴۰cm و روزنه‌ی ۱۰cm.



دور تا دور بدنه دارای سیم پیچ برق است.
کف عایق است تا اتلاف حرارتی نداشته باشد.
سقف هم‌چنین با هم عایق است.
دریوش ممکن است باز یا بسته باشد (حالا باز است.)
اگر باز باشد، روزنه به محیط آزمایش دید دارد.

جا کاری نداریم در سیم پیچ است، عایق است و ... ، ما می‌خواهیم ضرایب شکل را بدست آوریم.

$③ + ④ = ⑤$ تا سطح در شکل مشخص شده است.

$F_{15} \Leftarrow$ شکل شماره‌ی ۱۳

$F_{14} \Leftarrow$ دو دایره هم‌مرکز با قطرهای متفاوت $\Leftarrow$ شکل شماره‌ی ۱۶.

$F_{13} = F_{12} + F_{14} \Rightarrow F_{12}$ ✓ $\Leftarrow F_{13}$

$F_{11} = 0 \Leftarrow F_{11}$

$F_{11} + F_{12} + F_{13} + F_{14} = 1 \Rightarrow F_{12}$ ✓ $\Leftarrow F_{12}$

$F_{33} = 0 \Leftarrow F_{33}$

$F_{34} = 0$ ؛ چون در سطح هستند هیچ‌گیر را نمی‌بینند.

$A_3 F_{31} = A_1 F_{13} \Rightarrow F_{13} = F_{13} \frac{A_1}{A_3} \Leftarrow F_{13}$

$F_{41} + F_{42} + F_{43} + F_{44} = 1 \Rightarrow F_{42}$ ✓ $\Leftarrow F_{42}$

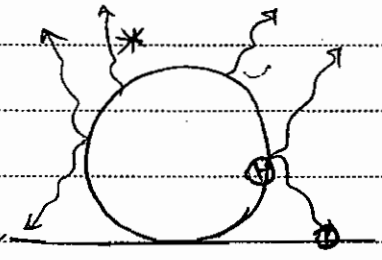
Subject:

Year. Month. Date. ( )

$$\begin{cases} F_{44}=0 & \leftarrow F_{44} \\ F_{43}=0 & \leftarrow F_{43} \\ A_4 F_{41}=A_1 F_{14} \Rightarrow F_{41}=F_{14}\dfrac{A_1}{A_4} & \leftarrow F_{41} \\ F_{41}+F_{42}+F_{43}+F_{44}=1 \Rightarrow F_{42}\checkmark & \leftarrow F_{42} \end{cases}$$

$$\begin{cases} F_{21}=F_{12}\dfrac{A_1}{A_2} \\ F_{23}=F_{22}\dfrac{A_3}{A_2} \\ F_{24}=F_{22}\dfrac{A_4}{A_2} \end{cases}$$

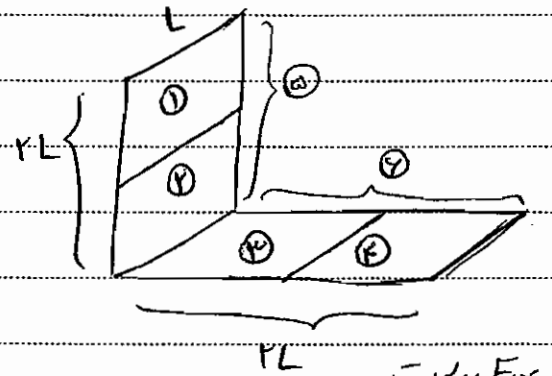
بین می‌توان با ترکیبی از اشکال ۱۲، ۱۳ و ۱۶ هندسه‌ی گوناگون را حل کرد.



سطح زمین که روشن رویش خیلی سادی است.

مقدار انرژی که سطح روی ① تابش کرده به $F_{12}=$ زمین می‌رسد چه قدر است؟

چون کره است نصفش به زمین و نصفش به آسمان می‌رسد. $F_{12}=\frac{1}{2}$



دو تا دیوار عمود بر هم داریم.

$S=F_{12}$ (H.W

① + ② = ⑤

③ + ④ = ⑥

F_{56}: ۱ درصد عمود بر هم

F_{26}: ✓ ــــــ

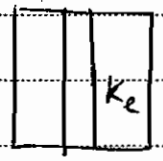
F_{23}: ✓ ــــــ

راه دیگر حل کردن F_{12} بدست می‌آید.

PAPCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

در فصل ۷ دو تا استوانه یا دو تا کره‌ی هم مرکز داشتیم. (در درس فضاهای سبز)
در آن جا از طریق k_e، انتقال حرارت جابجایی را محاسبه می‌کردیم.



⇐ مسأله‌ی ترکیب فصل ۷ و فصل ۸ را داریم.

* * * *

Radiation Exchange between Surfaces:

۱- تبادل حرارت بین سطوح در شرایط حرارتی مختلف

- Network Method
- Matrix

Network Method: انتقال حرارت را با جریان الکتریسیته شبیه‌سازی می‌کنیم

در هر دو روش معادلات حاکم یکسان است و فقط نحوه‌ی حل فرق می‌کند.
در روش Network برای نهایتاً ۵ سطح (تعداد سطح‌های محدود) قابل استفاده است.
هر دو روش یک سری فرضیات دارند:

① شرایط S.S است.
② دیوارها تیره هستند. (ضریب عبور = ۰ ($\tau = 0$))
③ جسم (دیوارها) خاکستری هستند (خواص تابشی به طول موج بستگی ندارد)
④ دمای هر سطح یک دمای حرارتی سطح یکنواخت است
⑤ فضای بین سطوح در انتقال حرارت دخالت نمی‌کند (تشعشع از دیوار ۱ به سمت ۲ می‌رود، چیزی از آن اضافه یا کم نمی‌شود. انگار خلأ است) ⇐ فرضیه خوبی نیست

Network Method:

دو تا پارامتر را تعریف می‌کنیم:

G_i: Irradiation (W/m^2): تابش گری
J_i: Radiosity (W/m^2): تابش دهی

Subject:

Year. Month. Date. ( )

J_i : $\frac{W}{m^2}$ انرژی که جسم می‌دهد. برگشتی دهد اصلاً مهم نیست.

$$q_i = J_i - G_i \quad (W/m^2)$$

q_i : مقدار خالص تبادل تابش (net)

$$J_i = \underbrace{\varepsilon_i E_{bi}}_{\text{انرژی که از خودش به علت دمای خودش تابش می‌کند}} + \rho_i G_i \qquad \rho + \delta + \alpha = 1 \quad \therefore \varepsilon = \alpha$$

$$\Rightarrow J_i = \varepsilon_i E_{bi} + (1-\varepsilon_i) G_i$$

جریان حرارت ←

$$q_i = A_i q_i = \frac{\varepsilon_i A_i}{1-\varepsilon_i} (E_{bi} - J_i)$$

اختلاف پتانسیل

عکس مقاومت تابشی سطح i

$$I = \frac{V}{R}$$

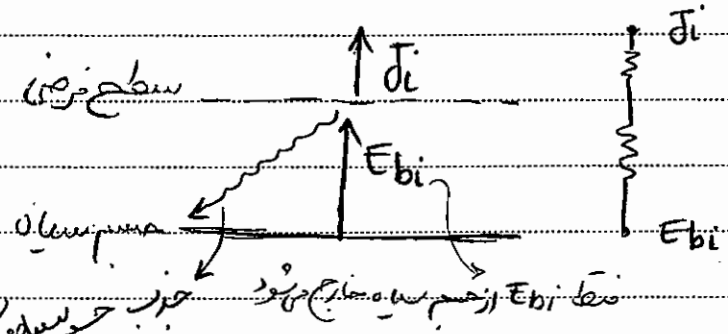
مقاومت خود جسمی که از مجاورت دیده آن اغراق دارد.

$$(\mp)\ R_i = \frac{1-\varepsilon_i}{\varepsilon_i A_i} \quad ;$$

در حد زمانی $R_i = 0$ ؛ اگر جسم ما سیاه باشد $\varepsilon_i = 1 \Leftarrow$ مقاومت تابشی = صفر

یک جسم سیاه داریم.

سطح فرضی فقط اجازه‌ی عبور J_i را می‌دهد.



Subject:
Year. Month. Date. ( )

دوتا دیوار داریم.

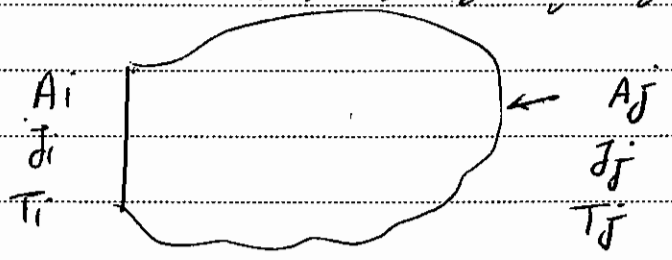
سطح i : دیوار سیب‌پز استاد (که در 1000K است.)

سطح j : بقیه‌ی دیوارهای اتاق (که هم در 300K هستند)

$J_i A_i$: انرژی که سطح i را ترک می‌کند.

$J_i A_i F_{ij}$: " " " " " و به سطح j می‌رسد.

$J_j A_j F_{ji}$: " " j " " " " i "



$$Q_{i=j\ net} = J_i A_i F_{ij} - J_j A_j F_{ji} \qquad (A_i F_{ij} = A_j F_{ji})$$

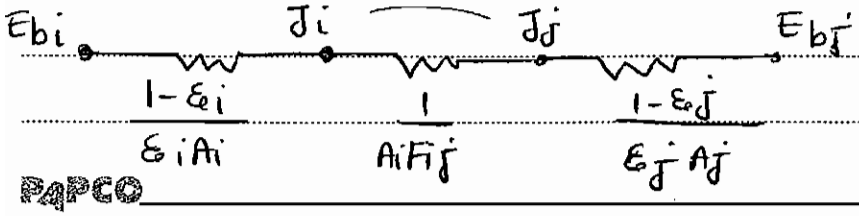
$$= A_i F_{ij} (J_i - J_j)$$

می‌دانیم : $I = \frac{V}{R} \Rightarrow$ (II) $R_{ij} = \frac{1}{A_i F_{ij}}$

که این مقاومت ارتباط هندسی دو سطح را نشان می‌دهد (مشابه با (I))

if $F_{ij} = 0 \Rightarrow$ یعنی همدیگر را نمی‌بینند، یعنی با هم ارتباط حرارتی برقرار نمی‌کنند، یعنی مقاومت ∞ است، یعنی بین دو تا جریانی برقرار نیست.

مقاومت وسطی هندسه را نشان می‌دهد



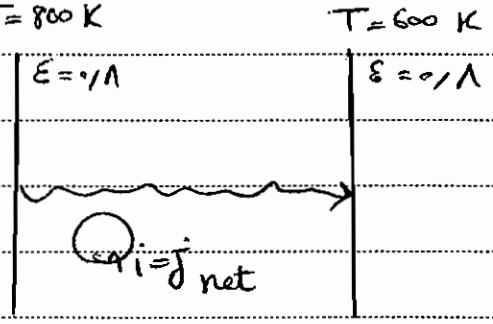
PqPCO

Subject:

Year. Month. Date. ( )

$$Q_{i=j\ net} = \frac{E_{bi} - E_{bj}}{\sum R} \quad ; E_b = \sigma T^4$$

مثال) دو دیوار بسیار بزرگ و موازی به دماهای ۸۰۰ و ۶۰۰ کلوین موجود است. هر دو دیوار خاکستری با ضریب نشر ۰/۸ می باشند. مطلوبست نرخ انتقال حرارت خالص برای واحد سطح بین این دو دیوار؟



حل) چون دیوارها بسیار بزرگ است، دیوارها دیگر خالی نمی کنند ⇐

$$F_{12} = 1$$

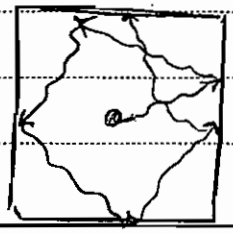
$$\frac{Q_{net}}{A} = \frac{\sigma(800^4 - 600^4)}{\frac{1-0/8}{0/8} + \frac{1}{1} + \frac{1-0/8}{0/8}} = 1080 \text{ W/m}^2$$

مثال) قطعه‌ای است به مساحت $2\ cm^2$ و دمای $600\ K$ درون اتاق بزرگی با دیوارهایی در دمای $300\ K$. ضریب نشر سطح ۰/۹ است. میزان انتقال حرارت تابشی بین قطعه و دیوارهای احاطه کننده برابر است با؟

$$Q = \frac{5(600^4 - 300^4)}{\frac{1-0/9}{A_1 \times 0/9} + \frac{1}{A_1} + \frac{1-0/2}{A_2 \times 0/2}} = \frac{A_1\sigma(600^4 - 300^4)}{\frac{1-0/9}{0/9} + \frac{1}{1} + \frac{A_1}{A_2}\frac{1-0/2}{0/2}}$$

چون نسبت مساحت قطعه به مساحت دیوار ناچیز است.

$$Q = 12/5\ W$$



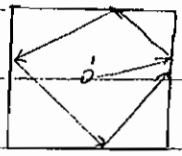
آنتاق اینای مثل هم سیاه است. چون همه‌ی انرژی تابشی از قطعه بر خورد به دیوارها تلف می‌شود.

PgPCO

$$Q = \frac{A_1 \sigma (600^4 - 300^4)}{\frac{1-0.9}{0.9} + \frac{1}{1} + \frac{A_1}{A_2}\left(\frac{1-\epsilon_2}{\epsilon_2}\right)} = 12.5\ w$$

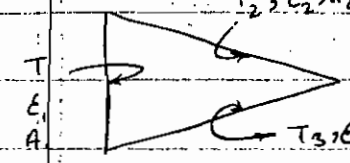
$A_2 \gg A_1 \Rightarrow \frac{A_1}{A_2} \to 0$

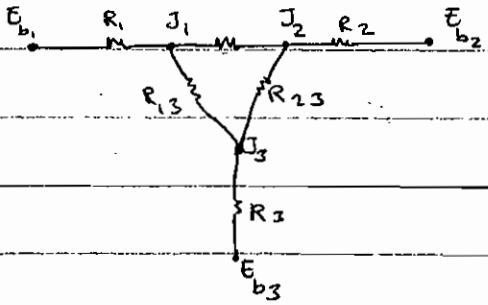
در دیوار ایجاد می‌کند. (اگر یک جسم سیاه را چقدر دور یک جسم سیاه بگذارید جسم سیاه خارج می‌شود)



Three Surface Enclosure

سطح ۱ غیر سیاه است پس یک مقاومت به علت سیاه بودن (باز) برای سطوح ۱ و ۲ نیز همین طور است.





دمای دو سطح غیر سیاه باشند، دو سطح دیگر را ببینند)

Q خالص حرارتی که سطح i از دست داده یا به دست آورد.

$$(Q_i)_{net} = \frac{E_{bi} - J_i}{R_i} \quad , R_i = \frac{1-\epsilon_i}{A_i \epsilon_i}$$

$$E_{bi} = \sigma T_i^4$$

برای ۳ از قانون کیرشهف استفاده کنیم. حال Q را دوری که چرخیم مجموع Q های وارده به یک گره سایی صفر است. سه معادله سه مجهول به دست آید را حل کنیم.

مثال: اتاقی به شکل مکعب مربع به ضلع ۳ متر. کف اتاق در $T=340K$ و ضریب نشر 0.9 و بقیه سقف اتاق

در دمای $T=290K$ و ضریب نشر 0.8 و بقیه چهار دیوار اتاق در دمای 310K و ضریب نشر 0.5 است.

مطلوب است محاسبه میزان تابش انرژی خروجی از سطح. (گام ۱: تعیین فاکتور شکل (3,4) دیوار ۲، سقف ۳، کف ۱)

$F_{12}=0.2$ ← (۸-۱۲ شکل) $F_{12}=F_{21}$ = فاکتور شکل صفحه مربعی که اضلاع سایر دیوارها طرف دیگر شکل ۱۲-۸)

$F_{12}+F_{13}+F_{11}=1.0 \Rightarrow F_{13}=0.8 = F_{23}=0.8$

شرایط کف با دیوارها مشابه شرایط سقف با دیوارهاست

$R_1=\frac{1-0.9}{9\times0.9}=0.0123, R_2=\frac{1-0.8}{9\times0.8}=0.0278, R_3=\frac{1-0.8}{36\times0.8}=6.9\times10^{-3}$

$R_{12}=\frac{1}{9\times0.2}, R_{13}=\frac{1}{9\times0.8}, R_{23}=\frac{1}{9\times0.8} \rightarrow R_{12}=0.55, R_{13}=0.139, R_{23}=0.139$

گره ۱: $\frac{6340^4-J_1}{R_1}+\frac{J_2-J_1}{R_{12}}+\frac{J_3-J_1}{R_{13}}=0$ ← معادله گره اول

گره ۲: $\frac{J_1-J_2}{R_{12}}+\frac{6290^4-J_2}{R_2}+\frac{J_3-J_2}{R_{23}}=0$ ← معادله گره دوم

گره ۳: $\frac{J_1-J_3}{R_{13}}+\frac{J_2-J_3}{R_{23}}+\frac{6310^4-J_3}{R_3}=0$

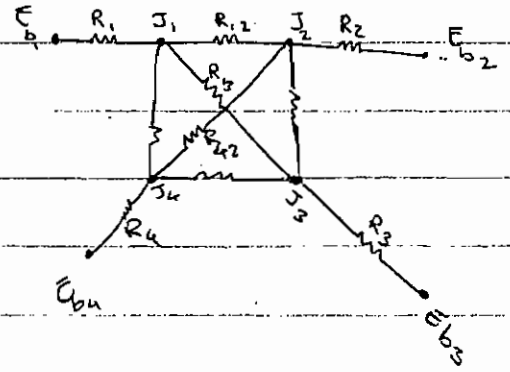
حل دستگاه بالا: $J_1=732.7, J_2=434.4, J_3=528.6$ ← همگی در واحد $\frac{W}{m^2}$ (شار خروجی)

$(Q_i)_{net}=\frac{E_{bi}-J_i}{R_i} \Rightarrow Q_1=1999, Q_2=-1210, Q_3=-760$ (W)

$|Q_2+Q_3|=Q_1$

یعنی انرژی از دست داده (یا دفع شده) دیوارها دیگر این انرژی را برگرداند.

اگر تعداد سطح ها ۴ سطح داشته باشد:



فرض کنیم که ها هم سیاه و مقاومت آن صفر است.

در این صورت $(Q_i)_{net} = \frac{E_{b_i} - J_i}{R_i} \leftarrow \infty$ ، ولی Q ها متناهی هستند پس مخرج کسر باید صفر باشد $(E_{b_i} = J_i)$

(رادیوسیته سیاه شار خیلی است؟)

سطح (دهم) آدیاباتیک است؟ سطحی که Q آن صفر است. خیر. چرا؟ (آدیاباتیک این شکلی است $E_{b_i} = J_i$)

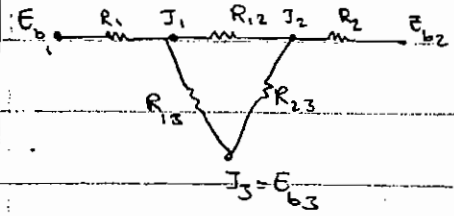
اما نزدیک شود که R هم صفر باشد:

هم سیاه $\begin{cases} E_{b_i} = J_i \quad , \quad \varepsilon = 1 \ , \ R = 0 \\ \text{حول صفر} \ R = \text{و حول صفر} \quad , \quad E_{b_i} = J_i \end{cases}$

حرف تعریف قبل (سیاه و آدیاباتیک بودن) یکی نیستند. (تفاوت آدیاباتیک با دو طرف (دو نیزه) متفاوت است.

تفاوت در یکی هم آدیاباتیک این است که کامل عایق باشد. مثل شار داده شده در این حالت صفر است.

اگر سطح شماره ۳ آدیاباتیک باشد، مدار هم شبکه‌ای چگونه می‌شود؟



* مثال قبل را با فرض اینکه سطح دیواره‌ای آن کاملاً آدیاباتیک باشد، تکرار کنید.

در این حالت های دیواره‌ای آن چقدر خواهد بود؟

جواب: نوع مسئله طرح

با معلوم ← شار مجهول ← مثل قبل

شار معلوم ← و مجهول ← سؤال امسال (*) ← توضیح: R_3 دیگر تعریف نمی‌شود.

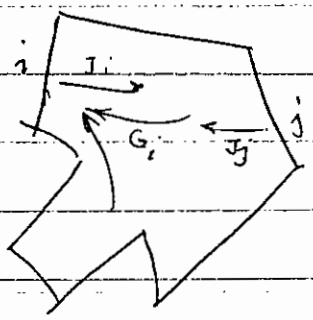
معادلات گره‌ای ۱ و ۲ با قانون جمع‌دی:

J_3: $\frac{J_1 - J_3}{R_{13}} + \frac{J_2 - J_3}{R_{23}} = 0$

$J_3 = E_{b_3} = \sigma T_3^4 \rightarrow$ T_3 پیدا می‌شود.

روش ماتریسی یا روش کامل تبادل حرارتی سطوح

Matrix Method:



J_i از سطح i خارج می‌شود و J_i از سطح i.

داریم: $q_i = J_i - G_i$, $J_i = \varepsilon_i E_{bi} - \rho_i G_i$

$$J_i = \varepsilon_i E_{bi} - (1-\varepsilon_i) G_i$$

$$J_j A_j F_{ji} \Longrightarrow J_j A_i F_{ij}$$

مجموع انرژی‌هایی که از همه سطوح و حجم‌ها می‌رسد به سطح i برابر است با

$$A_i G_i = \sum_{j=1}^{N} A_i F_{ij} J_j$$

$$\boxed{G_i = \sum_{j=1}^{N} F_{ij} J_j}$$

با جایگذاری این معادلات در هم، سه معادله زیر به دست می‌آید که این کل روش ماتریسی هستند.

$$\begin{cases} q_i = J_i - \sum_{j=1}^{N} F_{ij} J_j & (1) \\ E_{bi} = \frac{1}{\varepsilon_i} J_i - \frac{1-\varepsilon_i}{\varepsilon_i} \sum_{j=1}^{N} F_{ij} J_j & (2) \\ q_i = \frac{\varepsilon_i}{1-\varepsilon_i} (E_{bi} - J_i) & (3) \end{cases}$$

در عمل دو نوع مسئله پیش می‌آید. نوع اول: دمای تمام سطوح داده شده است و Q های آن مجهول است. روش حل:

۱. از معادله شماره ۲، J_i ها را به دست می‌آوریم. ۲. J_i ها را در معادله ۱ قرار می‌دهیم و Q_i ها به دست می‌آیند.

نوع دوم: دمای برخی از سطوح موجود در مجموعه مشخص شده است (m سطح داریم که دمای n تای آنها معلوم و m-n تای آنها مجهول است)

شار مجهول داریم: دو بخش داریم { برای m صفحه دما معلوم همان روش نوع اول را انجام می‌دهیم.
{ برای m-n صفحه شار معلوم، از رابطه $\frac{1}{\varepsilon_i}J_i^* - \frac{1-\varepsilon_i}{\varepsilon_i}\sum F_{ij}J_j = E_{bi}$ را به دست می‌آوریم و با جایگذاری J

در معادله $\sum$ ، دماها را به دست می‌آوریم.

چرا به این روش، روش ماتریسی گفته می‌شود؟

$$\frac{1}{\varepsilon_i}J_i^* - \frac{1-\varepsilon_i}{\varepsilon_i}\sum F_{ij}J_j = E_{bi} \longrightarrow [C][J]=[A]$$

[J] ماتریس J، [A] ماتریس معلوم، [C] ماتریس ضرایب ← روش حل

$$[J]=[C^{-1}][A]$$

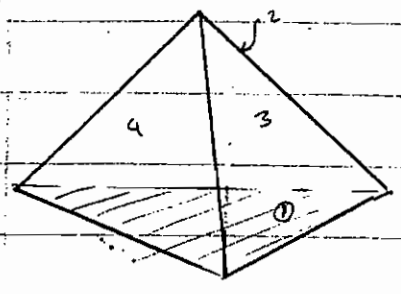
درایه‌های ماتریس [C] ⇐
$$\begin{cases} C_{ij} = \frac{1}{\varepsilon_i}(\delta_{ij} - (1-\varepsilon_i)F_{ij}) \\ \delta = \begin{cases} 1 \leftarrow i=j \\ 0 \leftarrow i\neq j \end{cases} \end{cases} \Rightarrow 1/\varepsilon_i J_i^*$$

$A_i = \sigma T_i^4$

مثال ← حفره‌ای است متشکل از سه سطح مستوی که شکل آن یک چهاروجهی متساوی‌الاضلاع است. یکی از سطوح دمای 800K و سطح دیگر آن دمای 500K دارد. سطح سوم عایق است.

دو دمای 500K و 300K هستند. مطلوب است مقادیر حاصل بتابش بین سطوح این هم.

$F_{ii} = 0 \rightarrow F_{ij} = 1/3$ ← آنچه از هر وجه تابیده می‌شود به هر سطح دیگری می‌رسد.



$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -0.083 & 1.25 & -0.083 & -0.083 \\ -0.083 & -0.083 & 1.25 & -0.083 \\ -0.083 & -0.083 & -0.083 & 1.25 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_1 \\ J_2 \\ J_3 \\ J_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6800^4 \\ 6500^4 \\ 6400^4 \\ 6300^4 \end{bmatrix}$$

ک $C_{21} = \frac{1}{0.3}(0-(0.2)\frac{1}{3})$

ا $\rightarrow J_1 = 6800^4 = 23224 \ \frac{W}{m^2}$

۲ $J_2 = 4759 \ \frac{W}{m^2}$

۳ $J_3 = 3190 \ \frac{W}{m^2}$

۴ $J_4 = 2445.6 \ \frac{W}{m^2}$

$q = \left[\frac{w}{m^2}\right]$, $Q = [w]$, $J = \left[\frac{w}{m^2}\right]$

* نکته: اگر جسم سیاه باشد ($\varepsilon_i = 1$ ، $E_{b_i} = J_i$) می‌توان از رابطه روبرو استفاده کرد. $q_i = \frac{\varepsilon_i}{1-\varepsilon_i}(E_{b_i} - J_i)$ (*)

همه از رابطه ۱ استفاده کنیم. ولی در سایر موارد از هر دو معادله ۱ یا ۳ می‌توان استفاده کرد.

$q_1 = 19759\left(\frac{w}{m^2}\right)$ ، $q_2 = -4861\left(\frac{w}{m^2}\right)$ ، $q_3 = -6953\left(\frac{w}{m^2}\right)$ ، $q_4 = -7945\left(\frac{w}{m^2}\right)$

کل شعاع‌ها و سایر سطوح جاذب انرژی می‌دهند $|q_2 + q_3 + q_4| = q_1$

هرچه دمای یک سطح کمتر باشد، q_{net} بیشتری را جذب می‌آورد.

سال از فصل دوم

$$\begin{cases} C_{ij} = \frac{1}{\varepsilon_i}(\delta_{ij} - (1-\varepsilon_i)F_{ij}) & j = 1, \dots, K \\ A_j = \sigma T_j^4 \end{cases}$$ (دما معلوم)

$$\begin{cases} C_{ij} = \delta_{ij} - F_{ij} & j = K+1, \dots, N \\ A_j = q_j \end{cases}$$ (شار معلوم)

برای مسئله قبل سطح شماره ۴ را یا یک دیگر گرفته شود. (سطح ۱ و ۲ و ۳ هم چاپ) از روابط ۲ و ۳ تعیین مقدار می‌شود ولی سطح ۴:

$C_{41} = -1/3$
$C_{42} = -1/3$
$C_{43} = -1/3$
$C_{44} = 1$ ، $F_{44} = 0$ ، $\delta_{44} = 1$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -0.083 & 1.25 & -0.083 & -0.083 \\ -0.083 & -0.083 & 1.25 & -0.083 \\ -1/3 & -1/3 & -1/3 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_1 \\ J_2 \\ J_3 \\ J_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6800^4 \\ 6500^4 \\ 6400^4 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$J_1 = 23224$ ، $J_2 = 5352$ ، $J_3 = 3784$ ، $J_4 = 10782$

q_1 از معادله (۱) به دست می‌آید ← $q_1 = 16572\left(\frac{w}{m^2}\right)$

q_2 و q_3 از معادله (۳) به دست می‌آید ← $q_2 = -7241\left(\frac{w}{m^2}\right)$ ، $q_3 = -9332\left(\frac{w}{m^2}\right)$

$q_4 = 0$ (دیباس)

$q_1 = |q_2 + q_3|$

$J_4 = E_{b4} = \sigma T_4^4 \rightarrow T_4 = 660\,K$

$q < 0$ ← انرژی خارج می‌شود

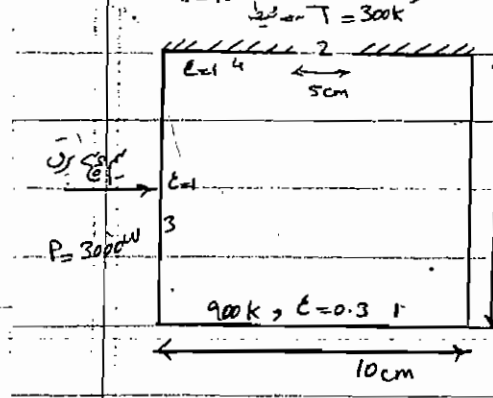
$T_1 = 800$ ، $T_2 = 500$ ، $T_3 = 400$ ، $T_4 = 660$

← انرژی از دست می‌دهد $q < 0$

اجسامی که در دمای ثابت با هم سازگارند

$q = 0$

تمرین: با توجه به آزمایشگاهی سیمان داده شده، مقادیر حاصل تابش و دماهای فوق را به دست آورید. (دور محیط هم عایق پرتاب است)



(بعد از گذاری از طبق آنچه نوشته ایم انجام دهیم بهتر است تا کمتر اشتباه نکنیم. ابتدا ۲ دما معلوم و ۲ تا مجهول اند.) * محیط اطراف تشکیل صفر سیاه است و آنچه از اطراف به آن وارد می‌شود دیگر برگشتی ندارد.

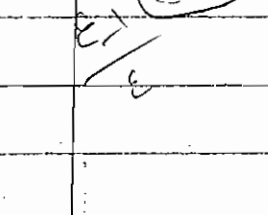
1) $T_1 = 900 \; , \; \varepsilon_1 = 0.3$

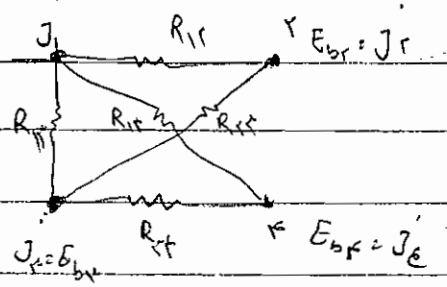
2) $T_2 = 300 \; , \; \varepsilon_2 = 1$

3) $q_3 = \frac{Q}{A} = \frac{P}{A} = \frac{3000}{\pi D L} \; , \; \varepsilon_3 = 1$

4) $q_4 = 0 \; , \; \varepsilon_4 = 1$

۱، ۲ و ۴ و ۳ را به هم بسته پس یک ـــ ـــ از ۲ و ۴ و ۳ وصل کنیم. (هوش رنگ و بندبین R_1 داریم)



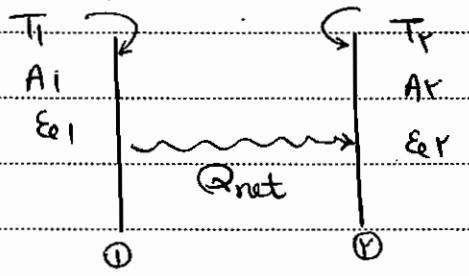


Subject:
Year. Month. Date. ( )

جلسه ی ۸۸/۲/۲۴

Radiation Shields: سپرهای حرارتی

این سپرها موجب کاهش انتقال حرارت تابشی می‌شود.



Q_{net} = انتقال حرارت خالص تابشی

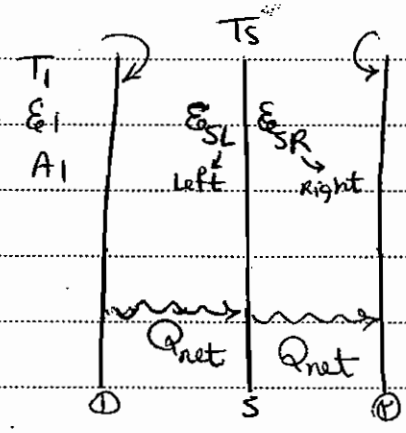
$$Q_{net} = \frac{\text{اختلاف پتانسیل}}{\text{مجموع مقاومت‌ها}}$$

مقاومت‌ها: ۱) غیرسیاه بودن جسم ① ۲) غیرسیاه بودن جسم ② ۳) مقاومت بین ① و ②

$$E_b = \sigma T_i^4$$

$$(I)\quad Q_{net} = \frac{E_{b1} - E_{b2}}{\frac{1-\varepsilon_1}{A_1\varepsilon_1} + \frac{1}{A_1 F_{12}} + \frac{1-\varepsilon_2}{A_2\varepsilon_2}}$$

حال جسم تاریک با دمای T_S را بین جسم ① و ② قرار می‌دهیم: (سپر حرارتی)



در شرایط S.S:

$(Q_{net})_{S,①}$ بین ① و S = $(Q_{net})_{②,S}$ بین ② و S

$$(II)\quad Q = \frac{E_{b1} - E_{b2}}{\frac{1-\varepsilon_1}{A_1\varepsilon_1} + \frac{1}{A_1 F_{1S}} + \frac{1-\varepsilon_{SL}}{A_S\varepsilon_{SL}} + \frac{1-\varepsilon_{SR}}{A_S\varepsilon_{SR}} + \frac{1}{A_S F_{S2}} + \frac{1-\varepsilon_2}{A_2\varepsilon_2}}$$

Q_{net} در (II) < Q_{net} در (I) ← بزرگتر است (II) صورت کسر یکسان است با مخرج

کم شده است ← سپر حرارتی موجب کاهش Q شده است

PqPCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

به ازای هر سپر حرارتی، سپر تا مقاومت اضافه می‌شود!

حالا ε_{SL} و ε_{SR} چه جنس‌هایی باشند خوب است؟

ε_{SL} :

ε_{SL} باید کوچک باشد تا خوب جذب شود و آن را به سمت منبع بازگرداند ⇐ اتلاف حرارتی از منبع کم می‌شود.

هرچه‌قدر ε_{SL} ↓ ⇐ بهتر.

ε_{SR} :

ε_{SR} هم باید کوچک باشد تا به سمت بیرون تابش نکند.

اغلب جنس‌های سپرهای تابشی به صورت لایه‌ای هستند.

مثلاً در فلکسی جای حراره‌ی درون آینه‌ای است تا تشعشعاتی که از جای به دیواره می‌رسد دوباره از دیواره به جای برسد و جذب نشود.

یا مثلاً فویل که دور غذا می‌پیچند.

دوسامواره فویل طلا می‌پیچند تا امواج خورشید خیلی جذب نشوند و دوباره بازتاب شوند.

حالت خاص:

یک حالت خاص این است که این سطوح جاری و ∞ باشند.

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_{S_1L} = \varepsilon_{S_1R} = \varepsilon_{S_2L} = \varepsilon_{S_2R} = \cdots * \quad F_{1S_1} = F_{S_1S_2} = \cdots = 1$$

$$R = \frac{Q_{net,N}}{Q_{net,0}} = \frac{1}{N+1}$$

($Q_{net,N}$ ← تعداد سپر تابشی)

$Q_{net,N}$ = میزان انتقال حرارت خالص تابشی بین از اینکه N تا سپر بگذاریم

PqPCO

Subject:

Year. Month. Date. ( )

نتیجه: نداشتن سپر اول خیلی خوب است و با افزایش تعداد سپرها تاثیرگذاری کم می‌شود.

N	0	1	2	3	4
R	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{5}$

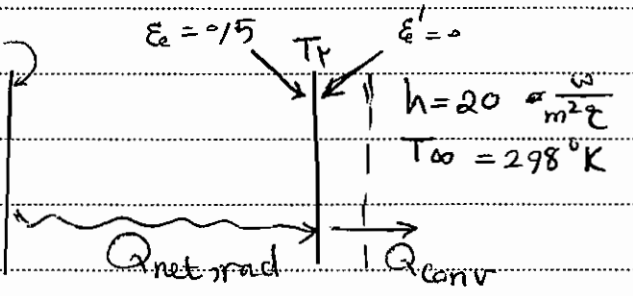
50٪ حاصل می‌دهد ← 16٪ ← 4٪ ← 5٪

$\frac{2}{3}$ = 66٪ ولی 50٪ برای مرحله‌ی ۱ است.

66٪ - 50٪ = 16٪

⇐ معمولاً به صرفه نیست که تعداد زیادی سپر تابشی بگذاریم.

مثال) با توجه به شکل زیر که دو دیوار سیاه بزرگ و موازی را نشان می‌دهد، دمای دیوار دوم را بدست آورید. اگر قرار باشد دمای این دیوار حداکثر 373°K باشد، حداقل تعداد سپر تابشی با ضریب نشر 0.5 در دو وجه لازم خواهد بود؟ اگر قرار باشد همین اثر با استفاده از یک سپر تابشی حاصل شود ضریب نشر آن را چه قدر باید انتخاب کنید؟ دمای سپر تابشی در حالت قبل را حساب کنید؟



حل)

فرض شده است که در این طرف دیوار تابش نداریم و فقط جابه‌جایی داریم.

الف)
$$Q_{net,0} = \frac{\sigma (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1-0.5}{0.5} + \frac{1}{1} + \frac{1-0.5}{0.5}} = 20 (T_2 - 298^4) \Rightarrow T_2 = 544.4°K$$

$$\Downarrow$$

$$Q_{net,0} = 5.03 \frac{kW}{m^2}$$

ب)
$$Q_{net,N} = 20 (344.3 - 298^4) = 1.05 \quad kW/m^2$$

$$\Rightarrow \frac{1.05}{5.03} = \frac{1}{N+1} \Rightarrow N = 2.35 \Rightarrow N = 3$$

$$\frac{Q_{net,3}}{Q_{net,0}} = \frac{Q_{net,3}}{5.03} = \frac{1}{3+1} \Rightarrow Q_{net,3} = 1.257 \frac{kW}{m^2}$$

PqPCO

Subject:

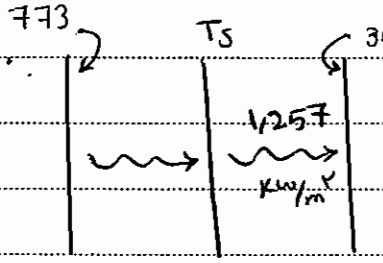
Year. Month. Date. ( )

$Q_{net,3} = 1.257 \frac{kw}{m^2} = h(T_2 - 298) \Rightarrow T_2 = 361^\circ K < 373^\circ K$

ج) حالا می خواهیم شعاع المنت سیم را طوری بگذاریم که T_2 چقدر می شود؟

$$1.257 \times 10^3 = \frac{\sigma(773^4 - 361^4)}{\frac{1-0.5}{0.5} + \frac{1}{1} + \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} + \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} + \frac{1}{1} + \frac{1-0.5}{0.5}} \Rightarrow \varepsilon = 0.13$$

یعنی یک سیم با ضریب نشر 0.13 کار سیم با ضریب نشر 0.5 را انجام می دهد ← باید T_2 در سیم تأثیری بالین باشد!



$$1.257 \times 10^3 = \frac{\sigma(773^4 - T_1^4)}{\frac{1-0.5}{0.5} + \frac{1}{1} + \frac{1-0.13}{0.13}}$$

$$T_S = 636^\circ K$$

* *

الشم در این مسئله خوب ساعت ها مه بود. هیچ صحبتی از فاصله بین دو صفحه نشد، و در خرد مطلب درست سر هم صحبت نشد! این مطلب برای سیستم های سیطح صادق است و برای سیستم های دوار (لوله و کره) این طور نیست!

تمرین نهم) مخزنی کروی به قطر 80 cm حاوی مایع در $100^\circ K$ می باشد. این مخزن درون مخزن کروی دومی به قطر 120 cm و دمای $300^\circ K$ قرار داده شده است. اگر $\varepsilon_1 = 0.15$ و $\varepsilon_2 = 0.2$ باشد، نرخ تبخیر این مایع چقدر است؟

$h_{fg} = 210 \frac{KJ}{kg}$

برای کاهش نرخ تبخیر سپری فولادی با ضریب نشر 0.05 در هر دو طرف بین این دو کره نصب می شود. نرخ تبخیر را برای هریک از سه حالت زیر حساب کنید:

قطر سپر برابر است با: الف) 90 cm

ب) 100 cm

ج) 110 cm

PAPCO

Subject:

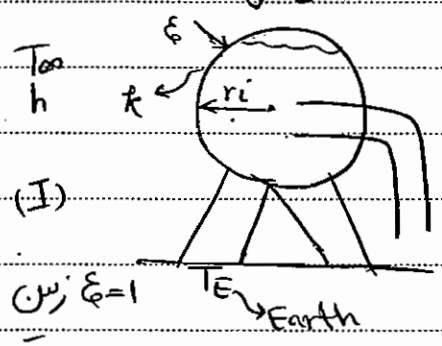
Year. Month. Date. ( )

← در حالت الف شعاع ۹۰cm به کره‌ی کوچک‌تر دیگر است.

ب « ۱۰۰cm « وسط است

← حل این سؤال نکته نگیر بدیه ترمودینامیکی به هندسه‌ی کوچک‌تر است یا هندسه‌ی بزرگ‌تر؟ (منبع و چاله‌هم نیست).

$\dot{q}$ خورشید

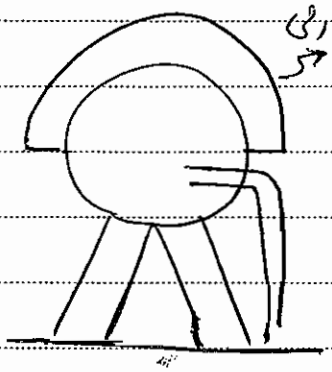


(I)

ترمز لفتی)

اگر انرژی را بیرون نبریم دوچیز می‌شود که حاضری دوتا حول متغیر شوند ← سیستم برو دسازی قرارش دهند تا مانند بخچال گرمای تولیدی را بیرون بکشد.

معادلات شکل بالا را بنویسید.



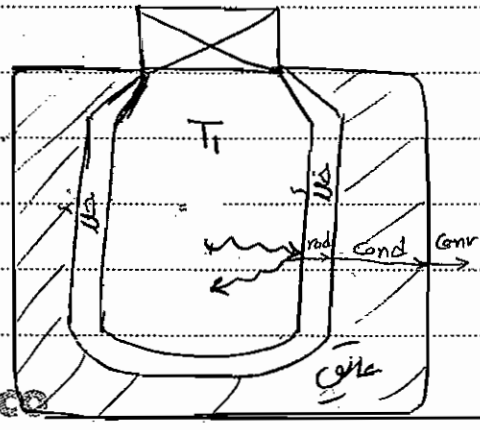
(II)

همه‌ی خصوصیات مثل حالت (I) است با این تفاوت که یک کره را روی آن قرار داده‌اند.

در این جا گرما که یکی از گرمای حالت (I) است چون زیر خورشید را بازتاب می‌کند.

معادلات را در این حالت نیز بنویسید.

ترمز لفتی)



h, T_∞

از داخل حفره فقط radiation داریم. از داخل شیشه دوم نیز ما تنها شیشه اول فقط رسانش داریم. در عایق هم فقط رسانش داریم. در محیط h, T_∞ نیز convection داریم.

اگر حفره تری داشتیم علاوه بر radiation و هدایت در فضای شیشه (فصل ۷) هم انتقال خواهیم داشت.

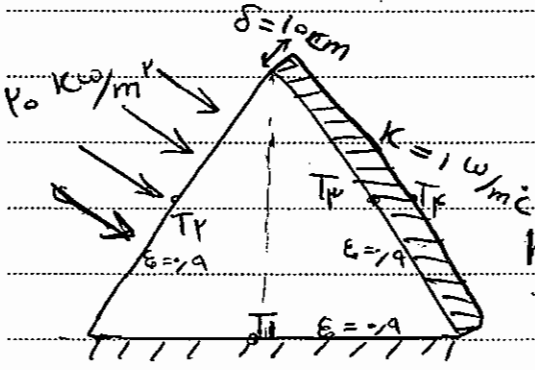
PAPCO

Subject:

Year. Month. Date. ( )

معادلات رادیوسیتی:

مثال) کوره‌ای تونلی و بسیار بلند با مقطع مثلث متساوی الاضلاع به ضلع ۲m موجود است که کوره کاملاً عایق شده است. یکی از سطوح آن دارای المنت‌های برقی با شار حرارتی $20\ \frac{kw}{m^2}$ است. سطح دیگر دیواره‌ست به ضخامت 10 cm، ضریب رسانش $1\ w/m^{\circ}c$ کوره در معرض محیط است به دمای 298 °K و ضریب جابجایی $10\ w/m^2{}^{\circ}K$. ضریب نشر هر سه سر سطح داخلی ۰/۹ است. از انتقال حرارت تابشی از سطح سوم به محیط صرف نظر می‌گردد. مطلوبست دمای دیواره‌های این کوره؟



$h = 10\ w/m^2{}^{\circ}K$

$T_\infty = 298\ ^{\circ}K$

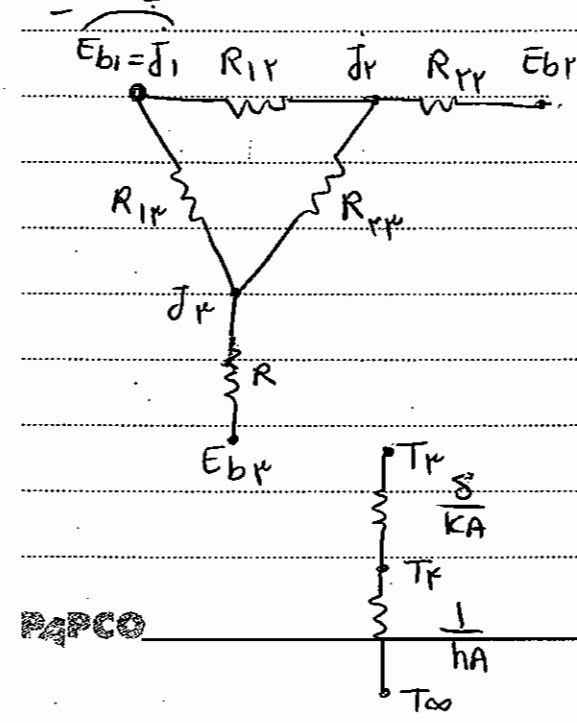
حل: سیار بلند: یعنی از اثرات انتهایی صرف نظر می‌شود.

$\varepsilon = 0/9$

$F_{ij} = 0 \quad i=j$; چون سطح مسطح هستند یا مقعر را می‌بیند

$= 1/2 \quad i \neq j$

روش مداری:



PaPCO

قاعده‌ی کیرشوف را برای گره‌ها زیر می‌نویسیم:

$$J_1: \frac{J_2 - J_1}{R_{12}} + \frac{J_3 - J_1}{R_{13}} = 0$$

$$J_2: \frac{J_1 - J_2}{R_{12}} + \frac{J_3 - J_2}{R_{23}} + \frac{E_{b2} - J_2}{R_2} = 0$$

$$J_3: \frac{J_1 - J_3}{R_{13}} + \frac{J_2 - J_3}{R_{23}} + \frac{E_{b3} - J_3}{R_3} = 0$$

$$E_{b3}: \frac{J_3 - E_{b3}}{R_3} + \frac{T_4 - T_3}{R_{cond}} = 0$$

$$T_4: \frac{T_3 - T_4}{R_{cond}} + \frac{T_\infty - T_4}{R_{conv}} = 0$$

با حل معادلات و مجهول بالا می‌توان به R ها رسید.

Subject:

Year. Month. Date. ( )

PaPCO

Table 8-2 Mean equivalent length L_r for radiation from entire gas volume, according to Refs. 22 and 25

Gas volume	*Characteristic dimension*	L_r
Volume between two infinite planes	Separation distance L	$1.8L$
Circular cylinder with the height = diameter, radiation to center of base	Diameter D	$0.71D$
Hemisphere, radiation to element in center of base	Radius R	R
Sphere, radiation to entire surface	Diameter D	$0.65D$
Infinite circular cylinder, radiation to convex bounding surface	Diameter D	$0.95D$
Circular cylinder with height = diameter, radiation to entire surface	Diameter D	$0.60D$
Circular cylinder, semi-infinite height, radiation to entire base	Diameter D	$0.65D$
Cube, radiation to any face	Edge L	$0.60L$
Volume surrounding infinite tube bundle, radiation to a single tube	Tube diameter D, distance between tube centers S	
Equilateral-triangle arrangement:		
$S = 2D$		$3.0(S - D)$
$S = 3D$		$3.8(S - D)$
Square arrangement		$3.5(S - D)$

enclosure at T_w and is a function of both T_w and T_g. For a mixture of carbon dioxide and water vapor an empirical relation for α_g is

$$\alpha_g(T_w) = \alpha_c + \alpha_w - \Delta\alpha \tag{8-54}$$

where

$$\alpha_c = C_c\epsilon_c'\left(\frac{T_g}{T_w}\right)^{0.65} \tag{8-55}$$

Fig. 8-36 Correction factor for CO_2 emissivity according to Ref. 22.

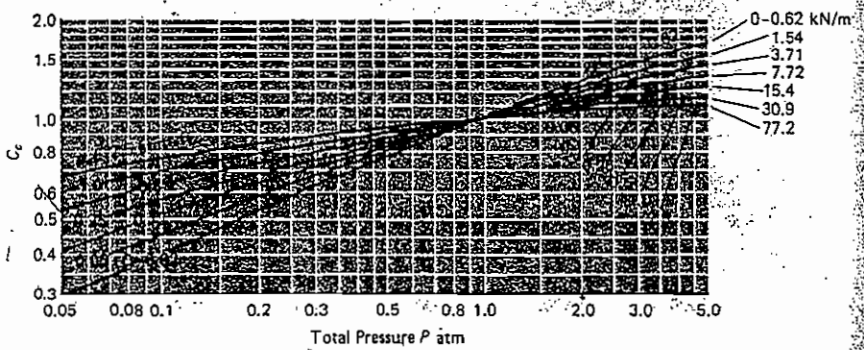
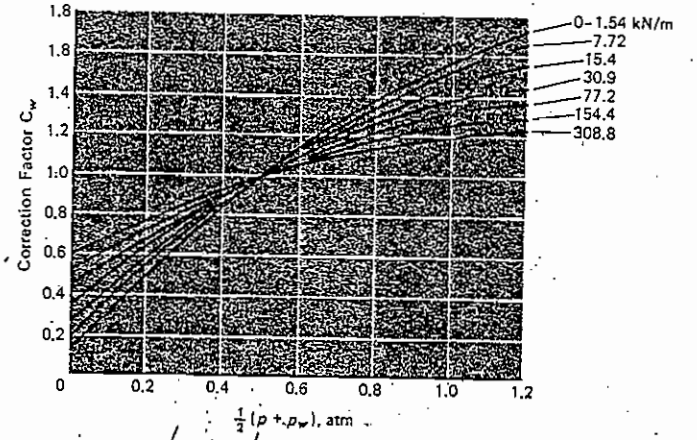


Fig. 8-37 Correction factor for H_2O emissivity according to Ref. 22.



$$\alpha_w = C_w\epsilon_w'\left(\frac{T_g}{T_w}\right)^{0.45} \tag{8-56}$$

$$\Delta\alpha = \Delta\epsilon \qquad \text{at } T_w \tag{8-57}$$

The values of ϵ_c' and ϵ_w' are evaluated from Figs. 8-34 and 8-35 with an abscissa of T_w but with pressure-beam-length parameters of $p_cL_e(T_w/T_g)$ and $p_wL_e(T_w/T_g)$, respectively.

Equation (8-53) was written for the heat exchange between a gas volume and a black enclosure at a uniform temperature. Now let us consider a more complicated case in which the gas volume is enclosed by two black parallel planes at different temperatures T_1 and T_2. In this case we must make an energy balance on each plate. For plate 1 the net energy *gain* is

$$q_1 = G_1A_1 - E_{b_1}A_1 \tag{8-58}$$

Fig. 8-38 Correction factor when CO_2 and H_2O are present in an enclosure according to Ref. 22: 1.0 atm·ft = 30.881 kN/m.

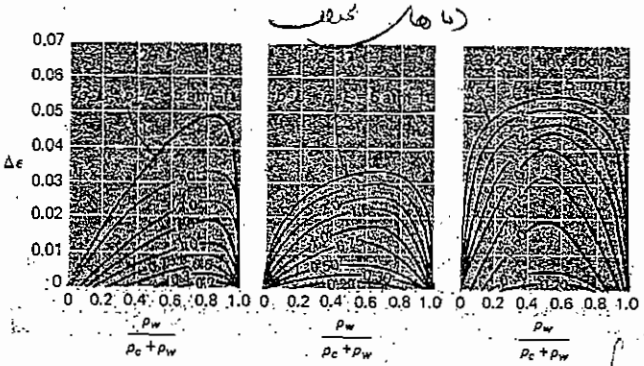
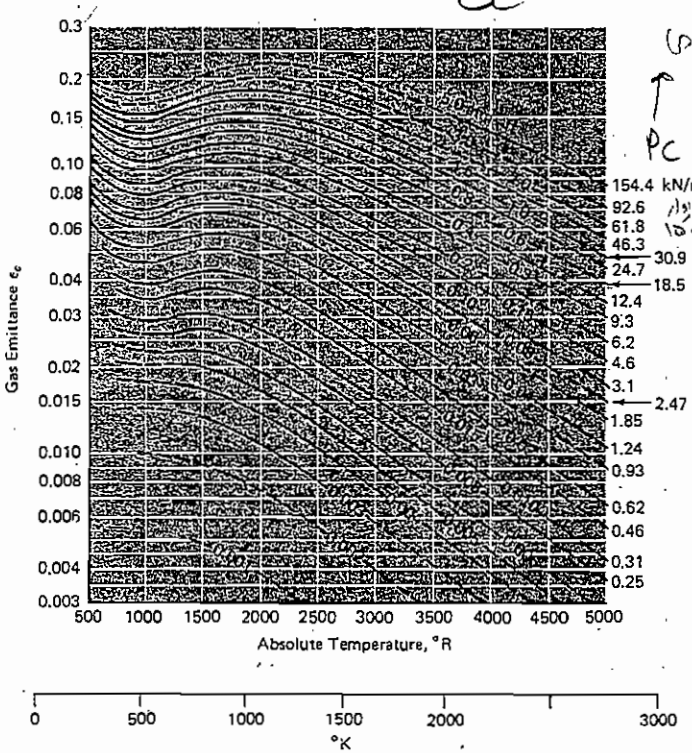


Fig. 8-34 Emissivity for carbon dioxide according to Ref. 22, for total pressure = 1 atm; 1.0 kN/m = 0.03238 atm·ft.



the *mean beam length*. Tabulations of these lengths are presented in Table 8-2 according to Hottel [22] and Eckert and Drake [25]. In the absence of mean-beam-length information for a specific geometry a satisfactory approximation can be obtained from

$$L_e = 3.6\frac{V}{A} \tag{8-51}$$

where V is the total volume of the gas and A is the total surface area. In Figs. 8-34 and 8-35 the total pressure of the mixture is 1 atm, and p_c and p_w represent the partial pressures of carbon dioxide and water vapor, respectively. For total pressures other than 1 atm, correction factors are provided in Figs. 8-36 and 8-37. When both carbon dioxide and water vapor are present, an additional correction $\Delta\epsilon$ from Fig. 8-38 must be subtracted from the total of the emittances of the two components; thus the total gas emittance ϵ_g of the mixture is expressed as

$$\epsilon_g = C_c\epsilon_c + C_w\epsilon_w - \Delta\epsilon \tag{8-52}$$

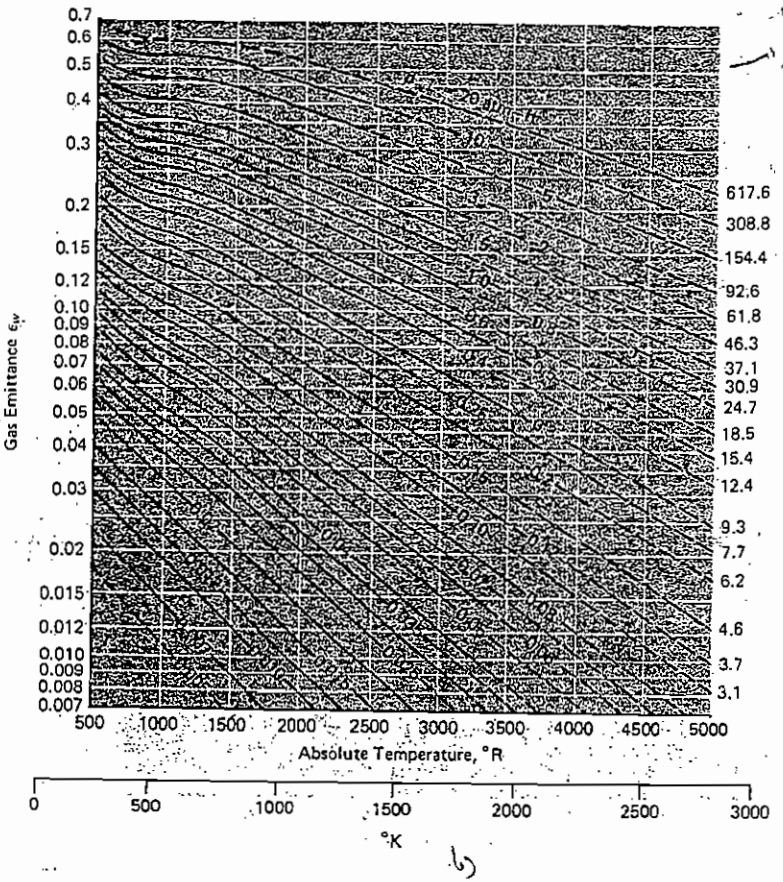
Heat exchange between gas volume and black enclosure

Now consider a gas volume at uniform temperature T_g enclosed by a black surface at temperature T_w. Because of the band structure of the gas the absorption of energy emitted by the wall at T_w will differ from the energy emitted by the gas at T_g. The net heat transfer from the gas to the enclosure is therefore

$$\frac{q}{A} = \text{energy emitted by gas} - \text{energy from enclosure absorbed by gas}$$
$$= \epsilon_g(T_g)\sigma T_g^4 - \alpha_g(T_w)\sigma T_w^4 \tag{8-53}$$

where $\epsilon_g(T_g)$ is the gas emittance at T_g which is evaluated as discussed above, $\alpha_g(T_w)$ is the gas absorptance for the radiation from the black

Fig. 8-35 Emissivity for water vapor according to Ref. 22 for total pressure = 1 atm; 1.0 kN/m = 0.03238 atm·ft.



$$N_p = \frac{P}{D^5 N^3 \rho} \qquad Re = \frac{D^2 N \rho}{\mu}$$

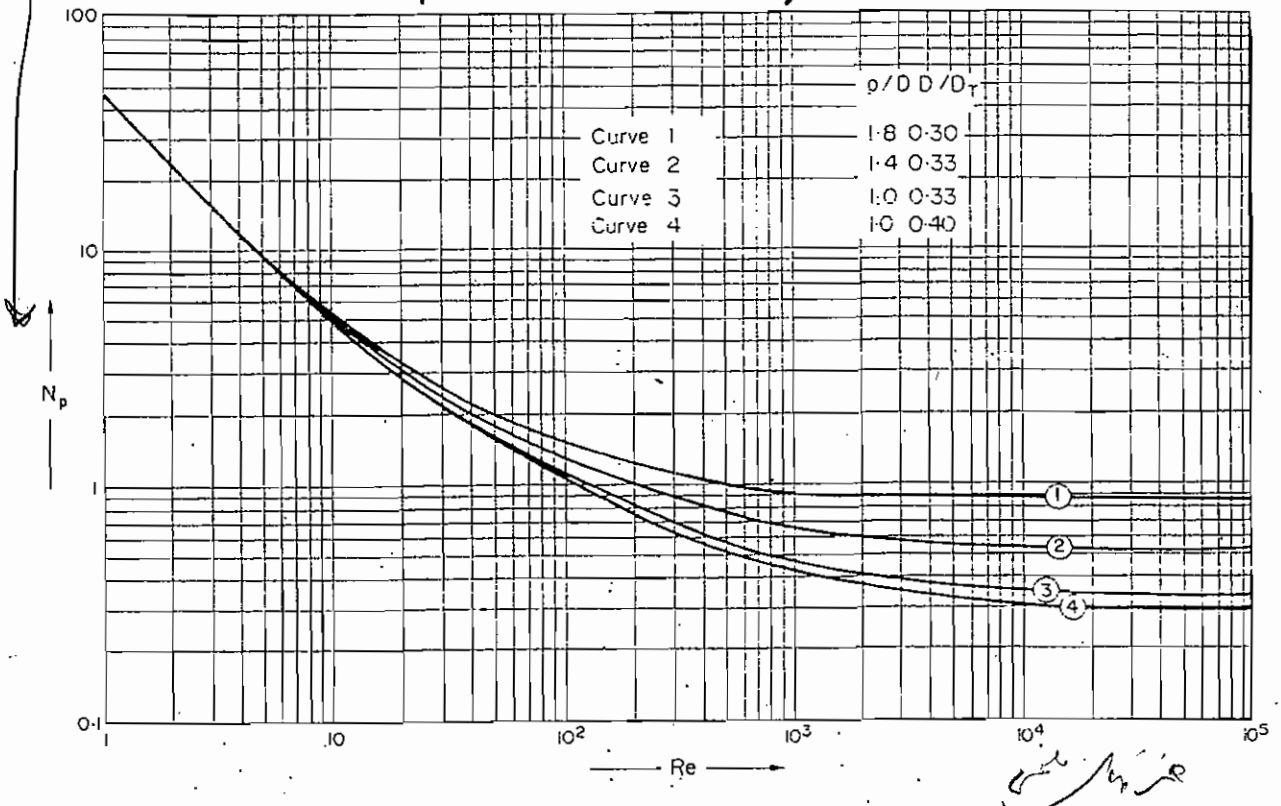


FIG. 10.58. Power correlation for single three-bladed propellers baffled, (from Uhl and Gray (1967) with permission). p = blade pitch, D = impeller diameter, D_T = tank diameter

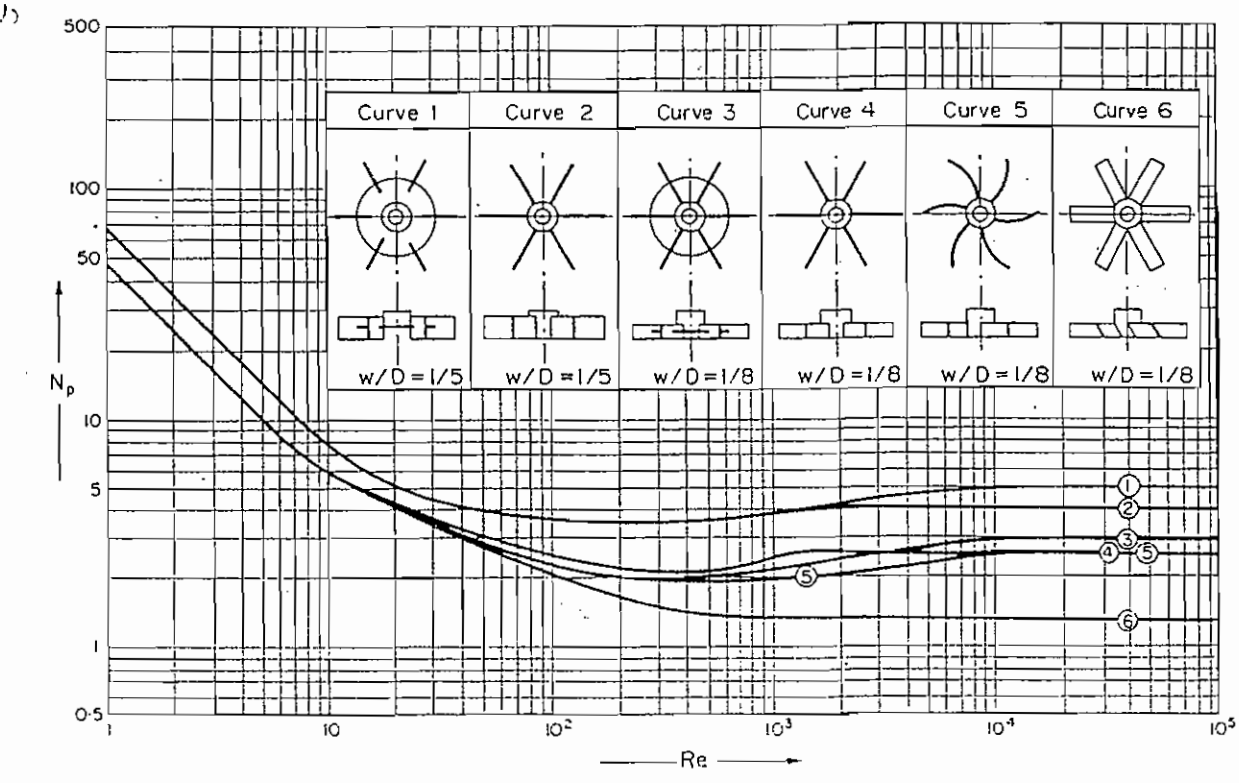


FIG. 10.59. Power correlations for baffled turbine impellers, for tank with 4 baffles (From Uhl and Gray (1967) with permission). w = impeller width, D = impeller diameter

اولین
دپارتمان تخصصی و جامع مهندسی شیمی
تخصصی ترین مرکز دوره های آمادگی
کنکور کارشناسی ارشد و دکتری مهندسی شیمی
"به خانه مهندسی شیمی خوش آمدید"
«مؤسسه آموزش عالی آزاد نگاره»

گروه مهندسی شیمی-دانشکده فنی
علی اصغر حمیدی

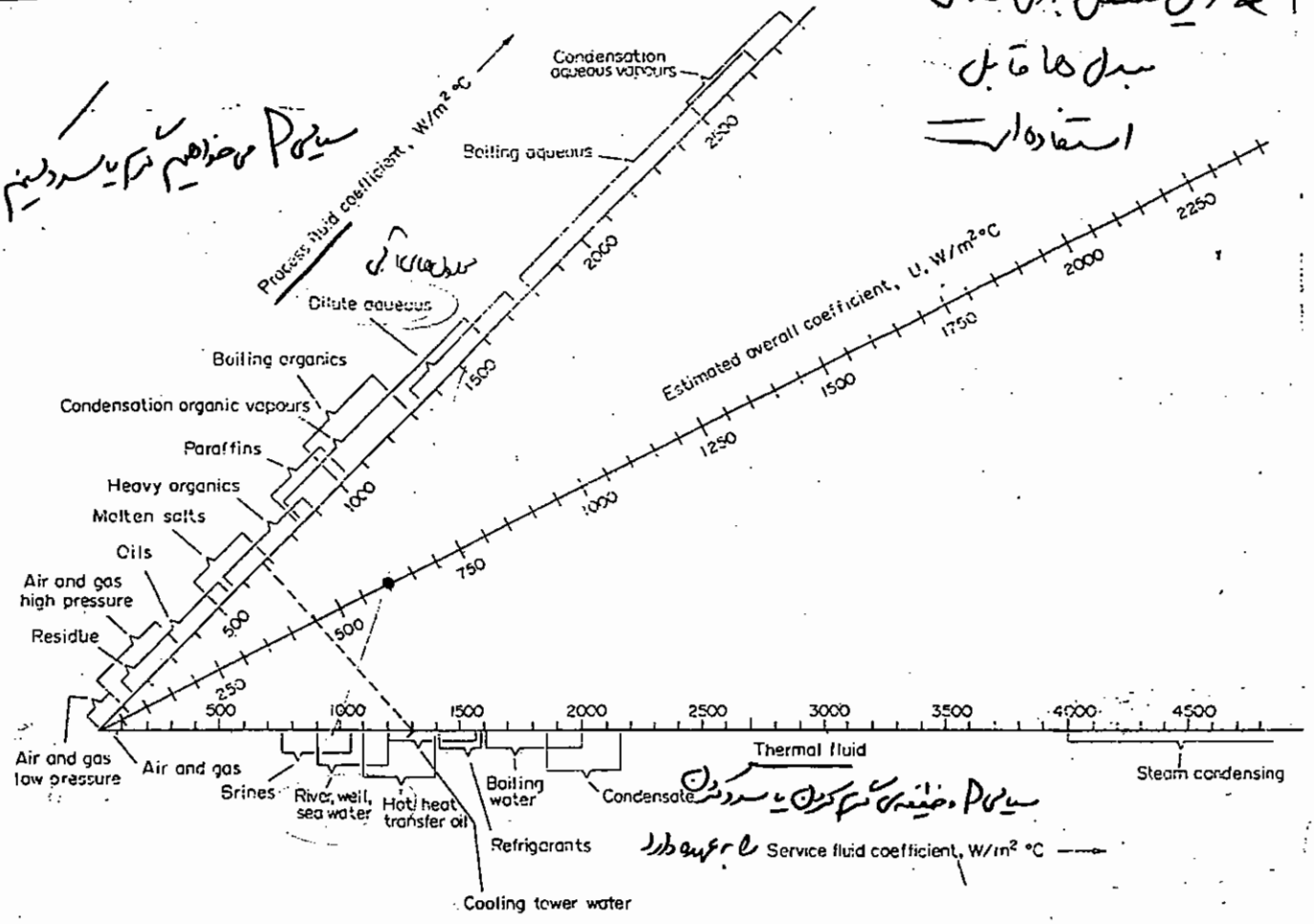


FIG. 12.1. Overall coefficients (join process side duty to service side and read U from centre scale)

Nomenclature

Part number

1. Shell
2. Shell cover
3. Floating-head cover
4. Floating-tube plate
5. Clamp ring
6. Fixed-tube sheet (tube plate)
7. Channel (end-box or header)
8. Channel cover
9. Branch (nozzle)
10. Tie rod and spacer
11. Cross baffle or tube-support plate
12. Impingement baffle
13. Longitudinal baffle
14. Support bracket
15. Floating-head support
16. Weir
17. Split ring
18. Tube
19. Tube bundle
20. Pass partition
21. Floating-head gland (packed gland)
22. Floating-head gland ring
23. Vent connection
24. Drain connection
25. Test connection
26. Expansion bellows
27. Lifting ring

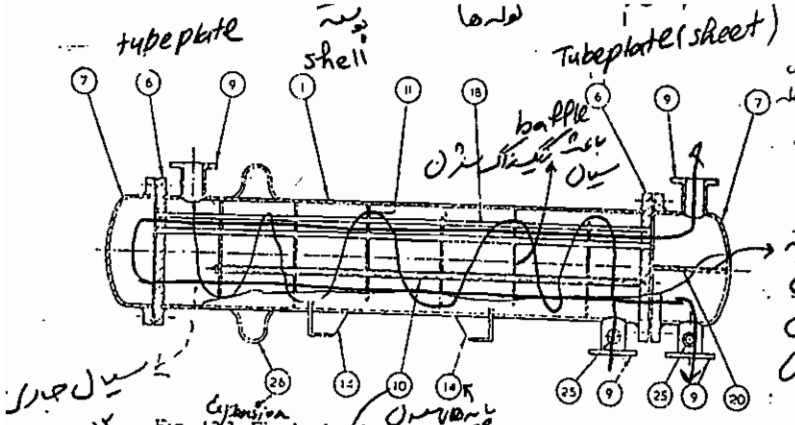


FIG. 12.3. Fixed-tube plate (based on figures from BS 3274: 1960)

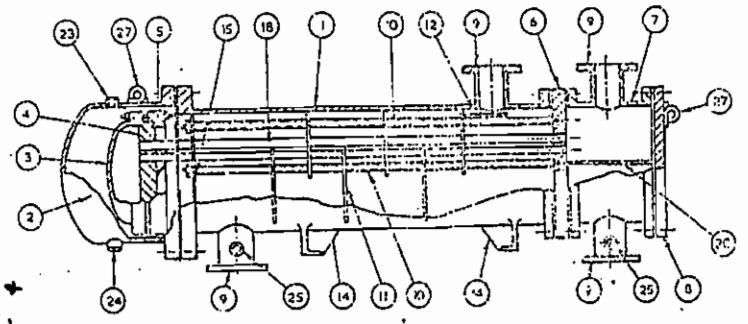


FIG. 12.6. Internal floating head with clamp ring (based on figures from BS 3274: 1960)

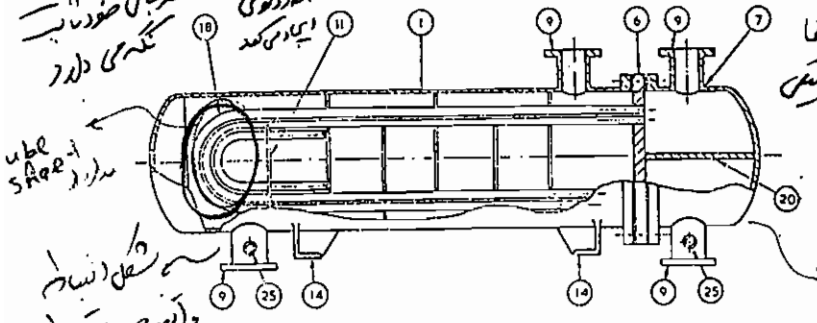


FIG. 12.4. U-tube (based on figures from BS 3274: 1960)

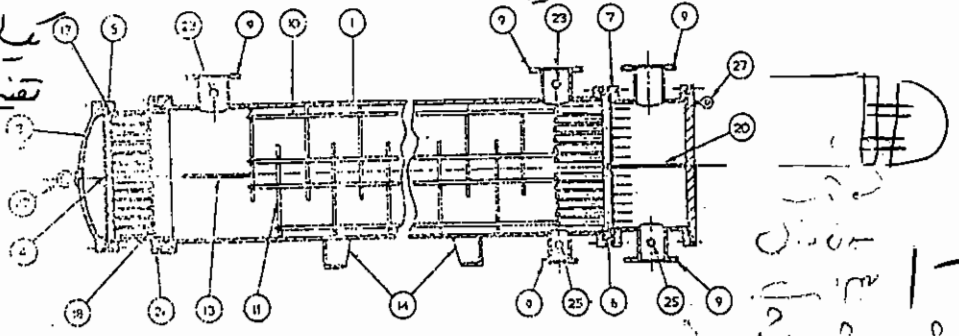


FIG. 12.7. External floating head, packed gland (based on figures from BS 3274: 1960)

TABLE 12.3. *Standard dimensions for steel tubes*

Outside diameter (mm)	Wall thickness (mm)				
16	1·2	1·6	2·0	—	—
20	—	1·6	2·0	2·6	—
25	—	1·6	2·0	2·6	3·2
30	—	1·6	2·0	2·6	3·2
38	—	—	2·0	2·6	3·2
50	—	—	2·0	2·6	3·2

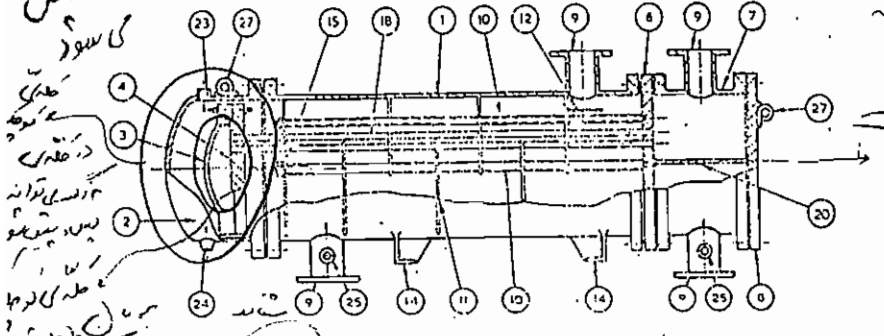


FIG. 12.5. Internal floating head without clamp ring (based on figures from BS 3274: 1960)

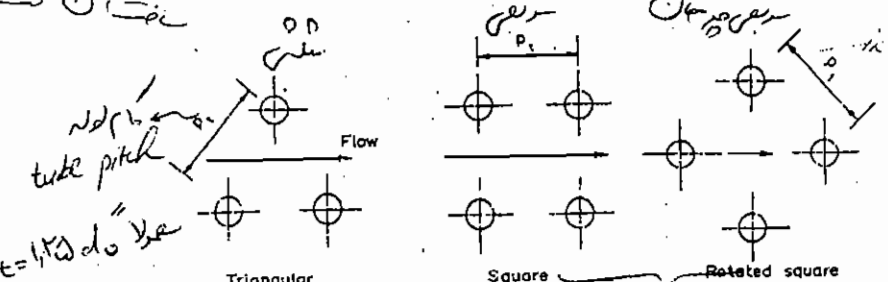


FIG. 12.9. Tube patterns

TABLE 12.4. *Constants for use in equation 12.3*

Triangular pitch, $p_t = 1{\cdot}25d_o$						
No. passes	m =	1	2	4	6	8
	K_1	0·319	0·249	0·175	0·0743	0·0365
	n_1	2·142	2·207	2·285	2·499	2·675
Square pitch, $p_t = 1{\cdot}25d_o$						
No. passes	m =	1	2	4	6	8
	K_1	0·215	0·156	0·158	0·0402	0·0331
	n_1	2·207	2·291	2·263	2·617	2·643

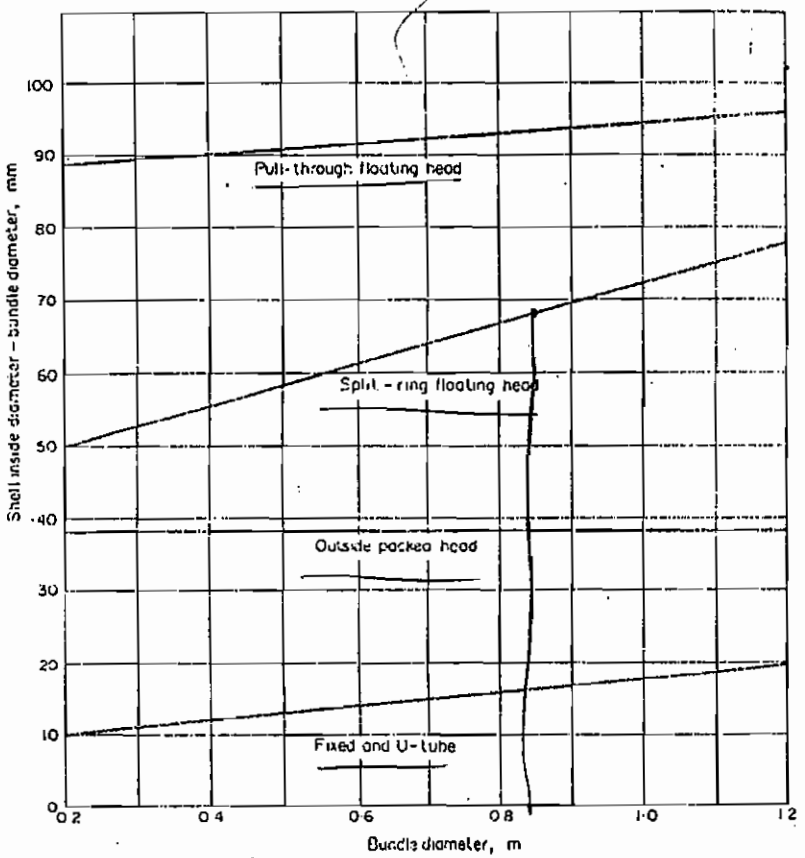


FIG. 12.10. Shell-bundle clearance

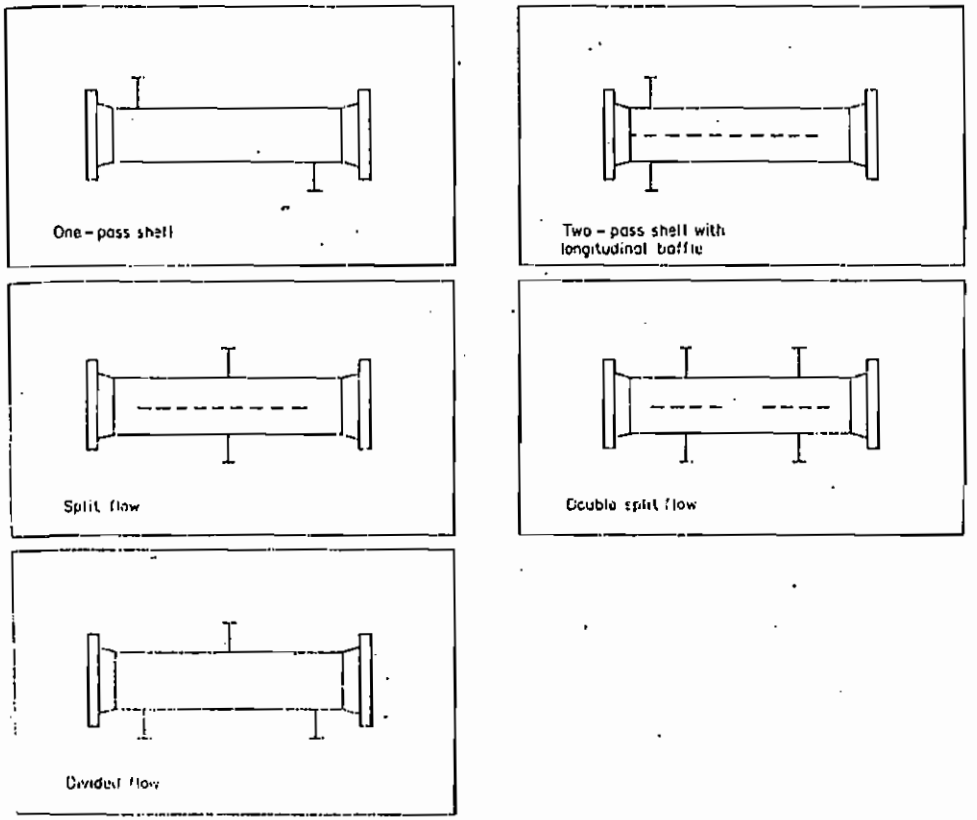


FIG. 12.12. Shell types (pass arrangements)

TABLE 12.5. *Typical baffle clearances and tolerances*

Shell diameter, D_s	Baffle diameter	Tolerance
Pipe shells		
6 to 25 in. (152 to 635 mm)	$D_s - \frac{1}{16}$ in. (1·6 mm)	$+\frac{1}{32}$ in. (0·8 mm)
Plate shells		
6 to 25 in. (152 to 635 mm)	$D_s - \frac{1}{8}$ in. (3·2 mm)	$+0, -\frac{1}{32}$ in. (0·8 mm)
27 to 42 in. (686 to 1067 mm)	$D_s - \frac{3}{16}$ in. (4·8 mm)	$+0, -\frac{1}{16}$ in. (1·6 mm)

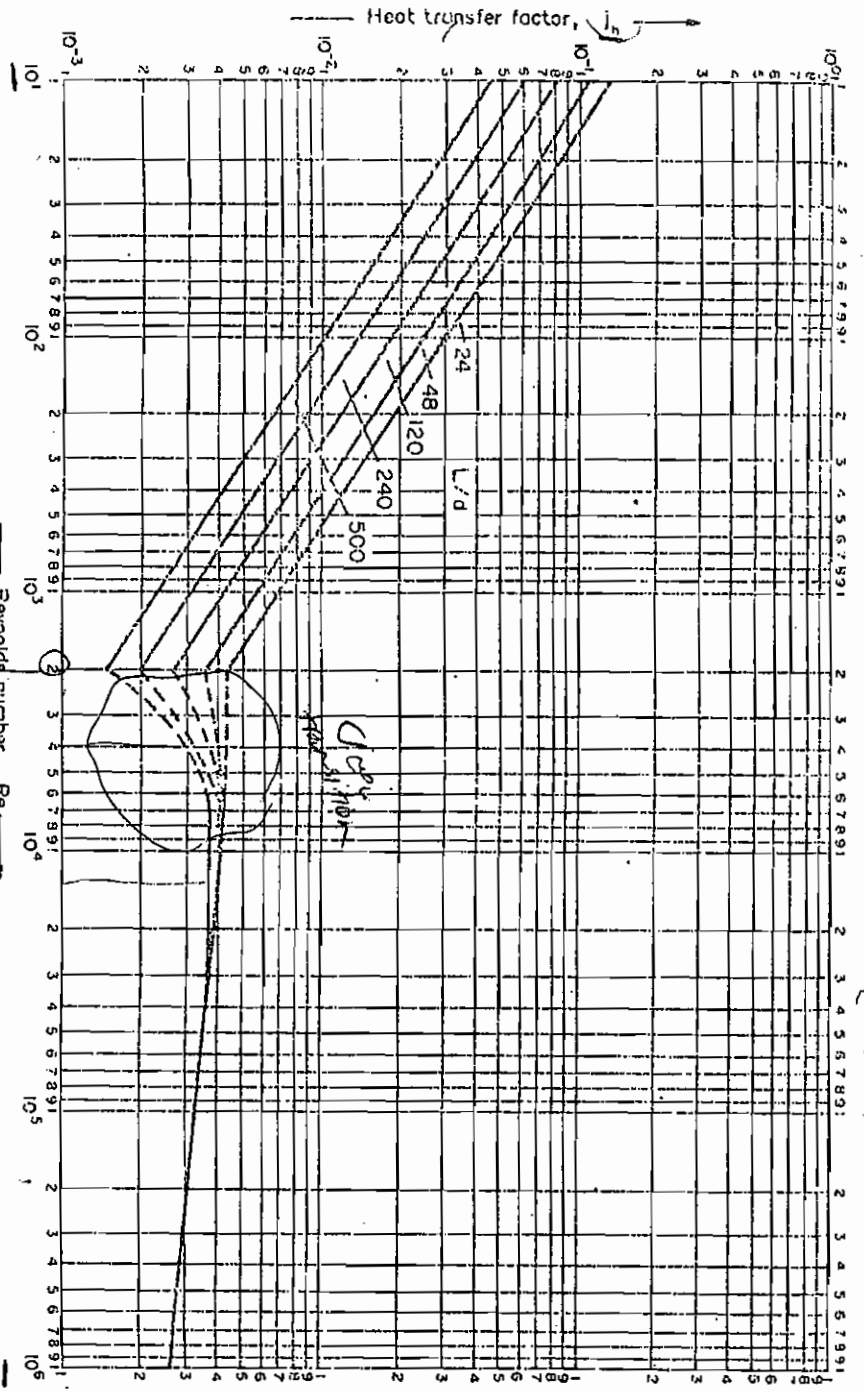


FIG. 12.23. Tube-side heat-transfer factor

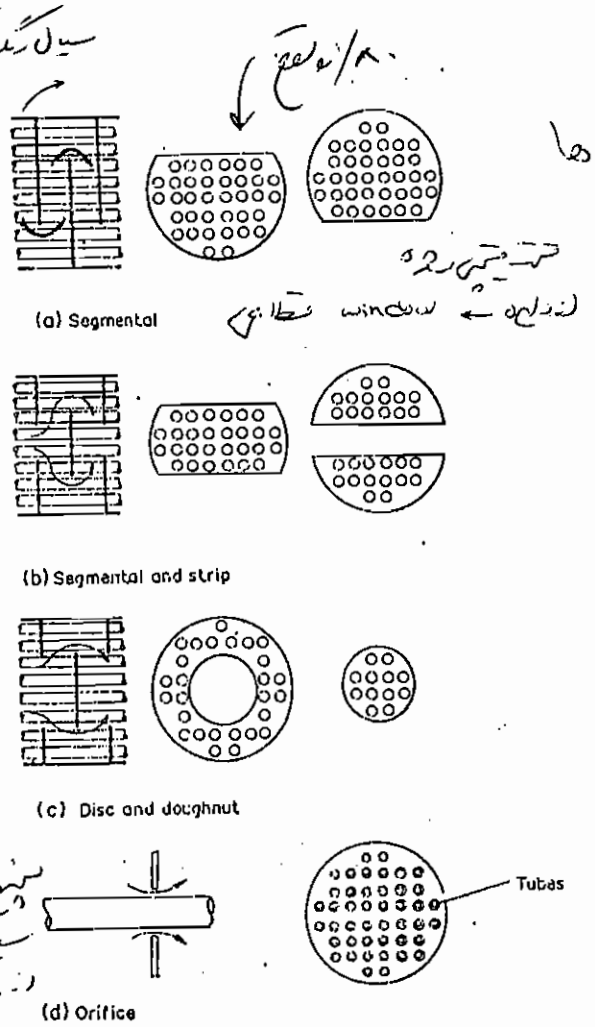


FIG. 12.13. Types of baffle used in shell and tube heat exchangers

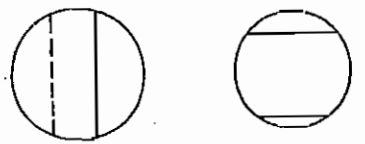


FIG. 12.14. Baffles for condensers

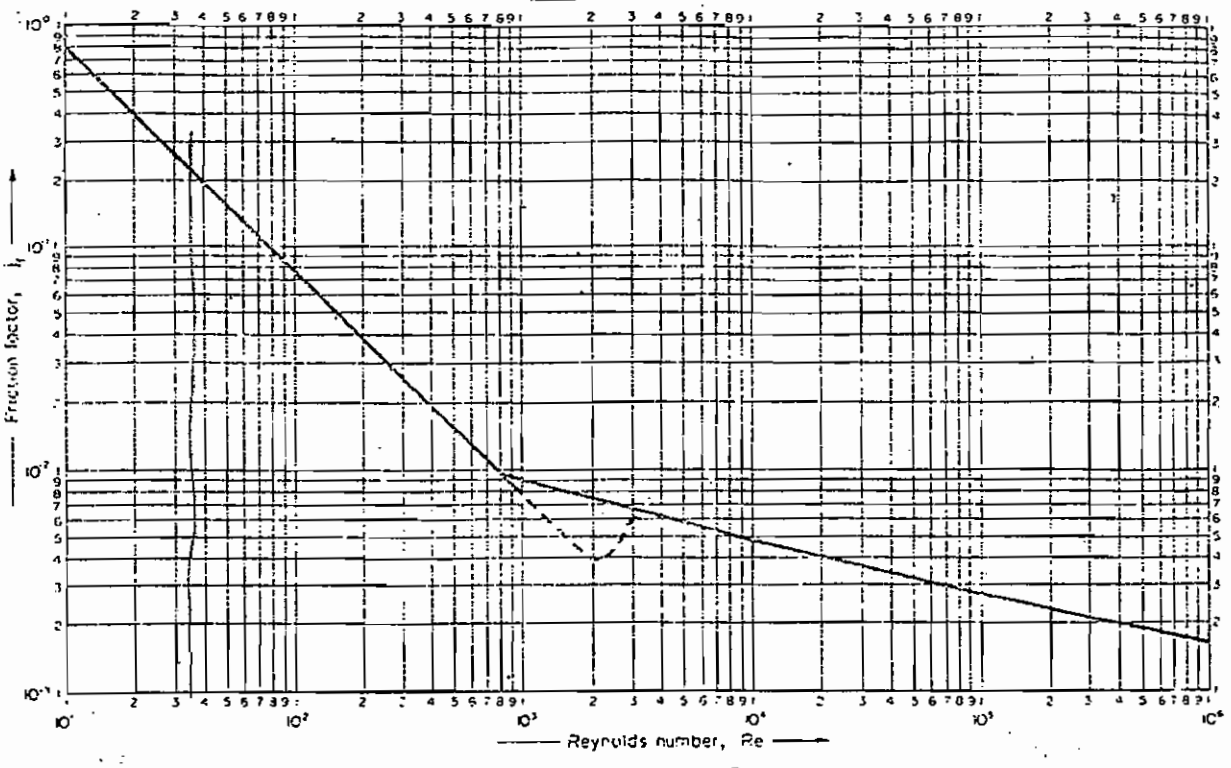


FIG. 12.24. Tube-side friction factors

Note: The friction factor j_f is the same as the friction factor for pipes $\phi\left(=\frac{R}{\rho u^2}\right)$, defined in Volume 1 Chapter 3.

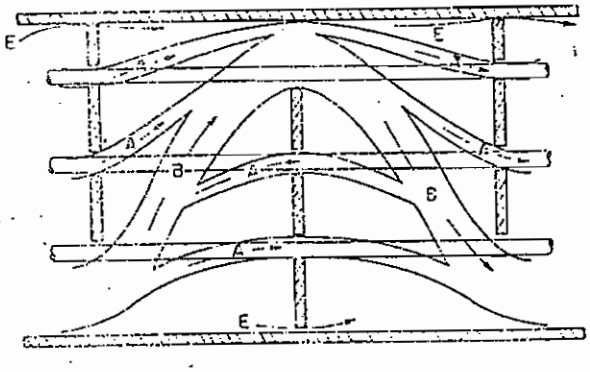


FIG. 12.26. Shell-side leakage and by-pass paths

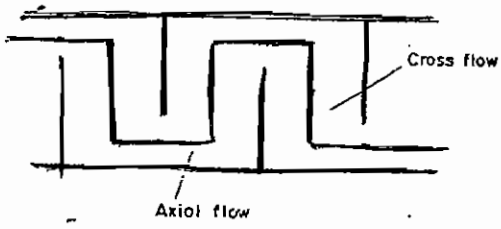


FIG. 12.25. Idealised main stream flow

$$d_e = \frac{4\left(P_t^2 - \frac{\pi}{4}d^2\right)}{\pi d_o}$$

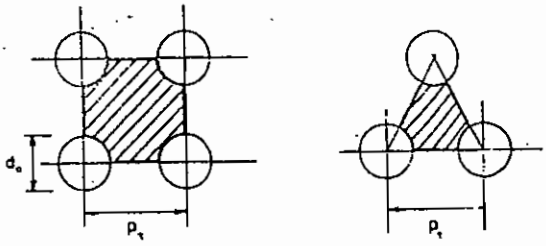


FIG. 12.28. Equivalent diameter, cross-sectional areas and wetted perimeters

$$d_e = \frac{4\left(\frac{1}{2}P_t \times 0.9 - \frac{1}{2}\cdot\frac{\pi}{4}d_o\right)}{\frac{1}{2}\pi d_o}$$

انتقال حرارت۲

گروه مهندسی شیمی-دانشکده فنی

علی اصغر حمیدی

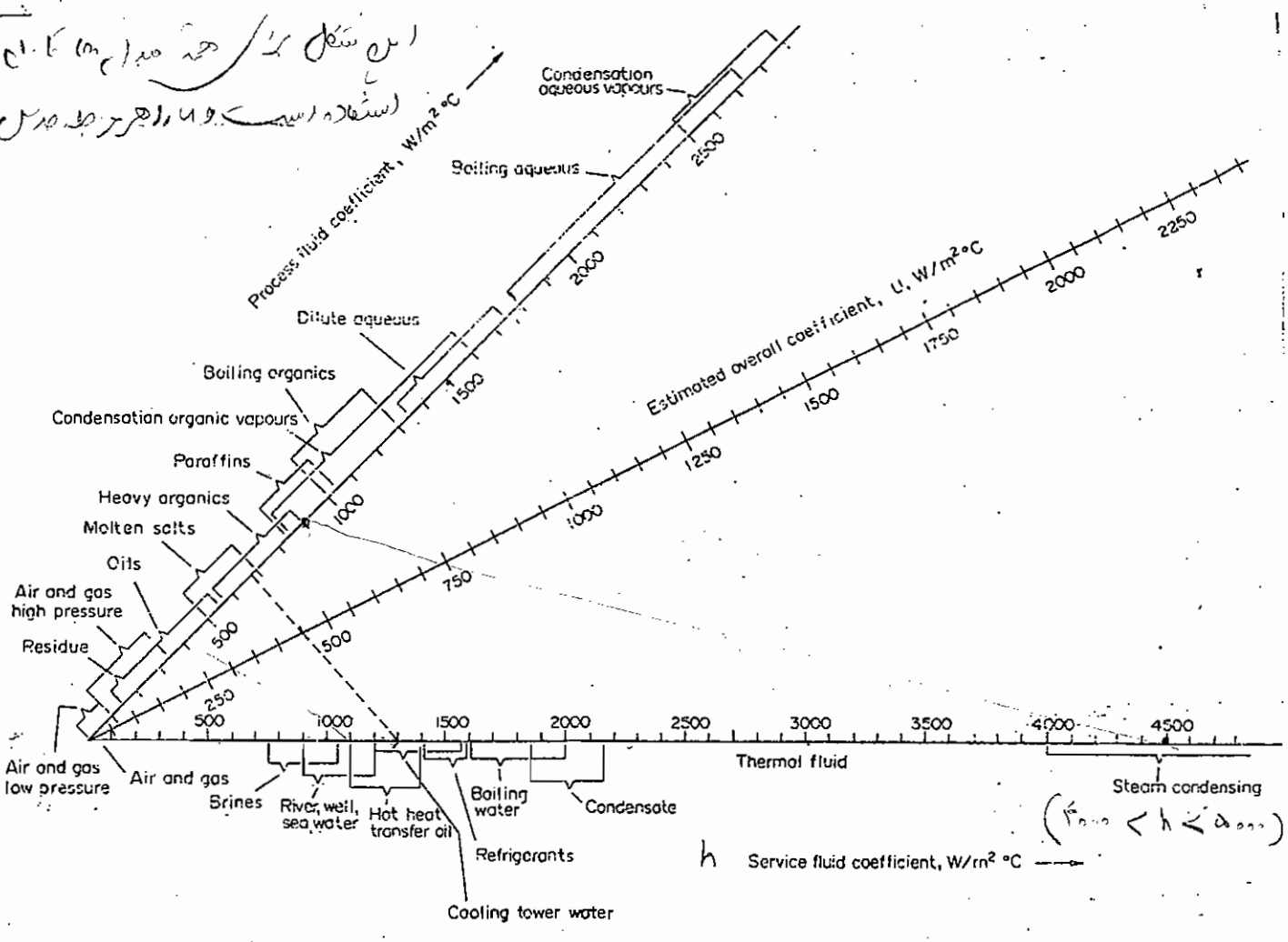


FIG. 12.1. Overall coefficients (join process side duty to service side and read U from centre scale)

Nomenclature

Part number

1. Shell
2. Shell cover
3. Floating-head cover
4. Floating-tube plate
5. Clamp ring
6. Fixed-tube sheet (tube plate)
7. Channel (end-box or header)
8. Channel cover
9. Branch (nozzle)
10. Tie rod and spacer
11. Cross baffle or tube-support plate
12. Impingement baffle
13. Longitudinal baffle
14. Support bracket
15. Floating-head support
16. Weir
17. Split ring
18. Tube
19. Tube bundle
20. Pass partition
21. Floating-head gland (packed gland)
22. Floating-head gland ring
23. Vent connection
24. Drain connection
25. Test connection
26. Expansion bellows
27. Lifting ring

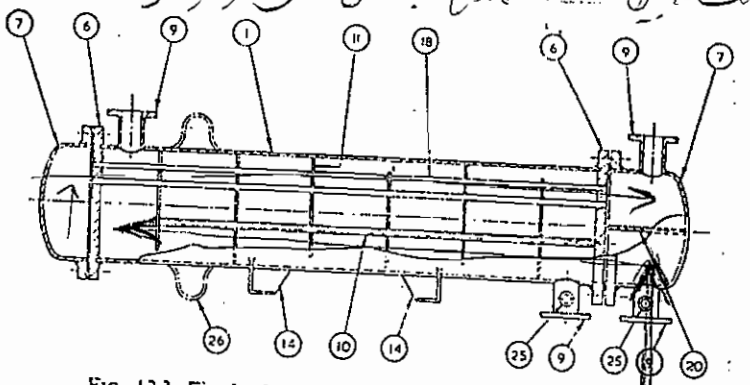


FIG. 12.3. Fixed-tube plate (based on figures from BS 3274: 1960)

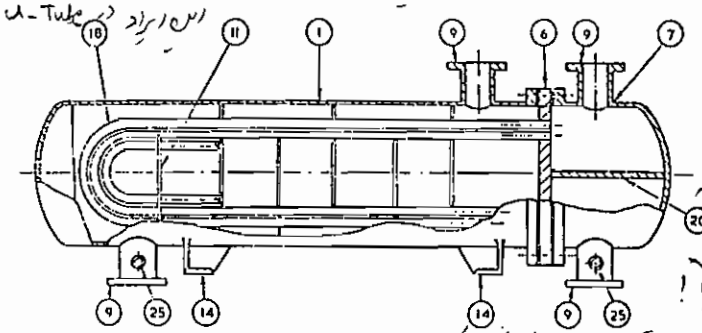


FIG. 12.4. U-tube (based on figures from BS 3274: 1960)

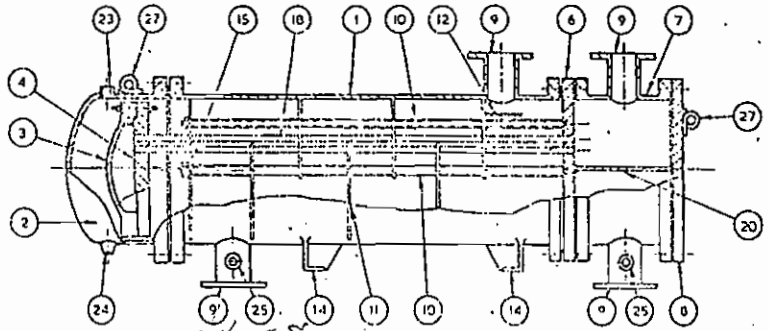


FIG. 12.5. Internal floating head without clamp ring (based on figures from BS 3274: 1960)

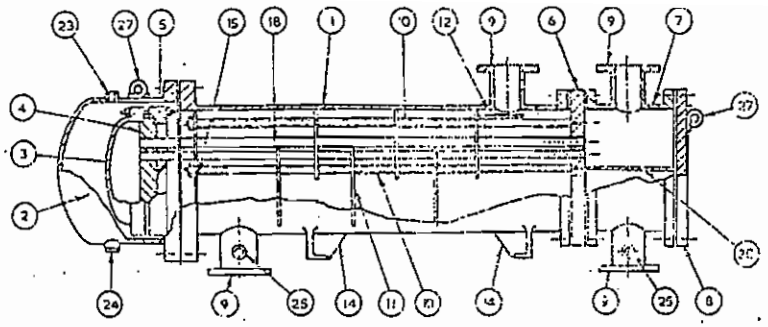


FIG. 12.6. Internal floating head with clamp ring (based on figures from BS 3274: 1960)

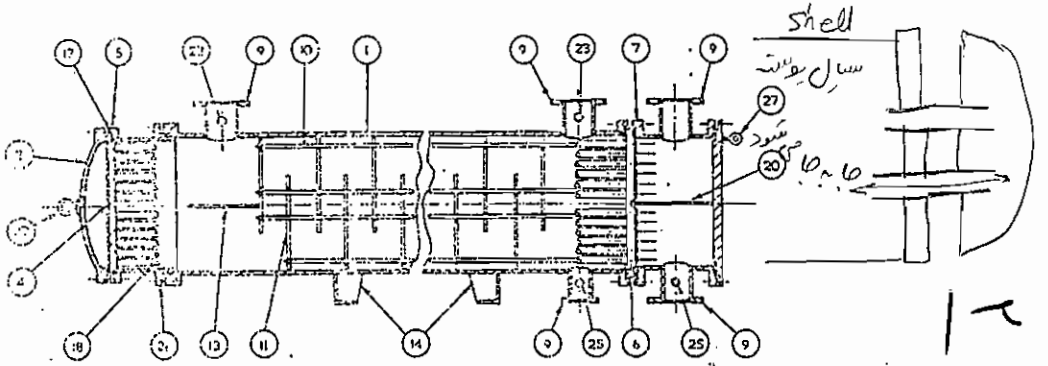


FIG. 12.7. External floating head, packed gland (based on figures from BS 3274: 1960)

TABLE 12.3. *Standard dimensions for steel tubes*

Outside diameter (mm)	Wall thickness (mm)				
16	1·2	1·6	2·0	—	—
20	—	1·6	2·0	2·6	—
25	—	1·6	2·0	2·6	3·2
30	—	1·6	2·0	2·6	3·2
38	—	—	2·0	2·6	3·2
50	—	—	2·0	2·6	3·2

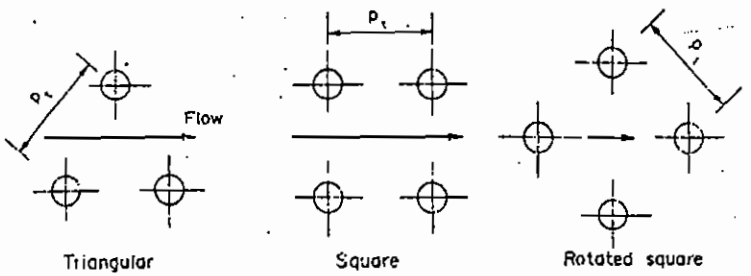


FIG. 12.9. Tube patterns

TABLE 12.4. *Constants for use in equation 12.3*

Triangular pitch, $p_t = 1{\cdot}25d_o$					
No. passes	1	2	4	6	8
K_1	0·319	0·249	0·175	0·0743	0·0365
n_1	2·142	2·207	2·285	2·499	2·675
Square pitch, $p_t = 1{\cdot}25d_o$					
No. passes	1	2	4	6	8
K_1	0·215	0·156	0·158	0·0402	0·0331
n_1	2·207	2·291	2·263	2·617	2·643

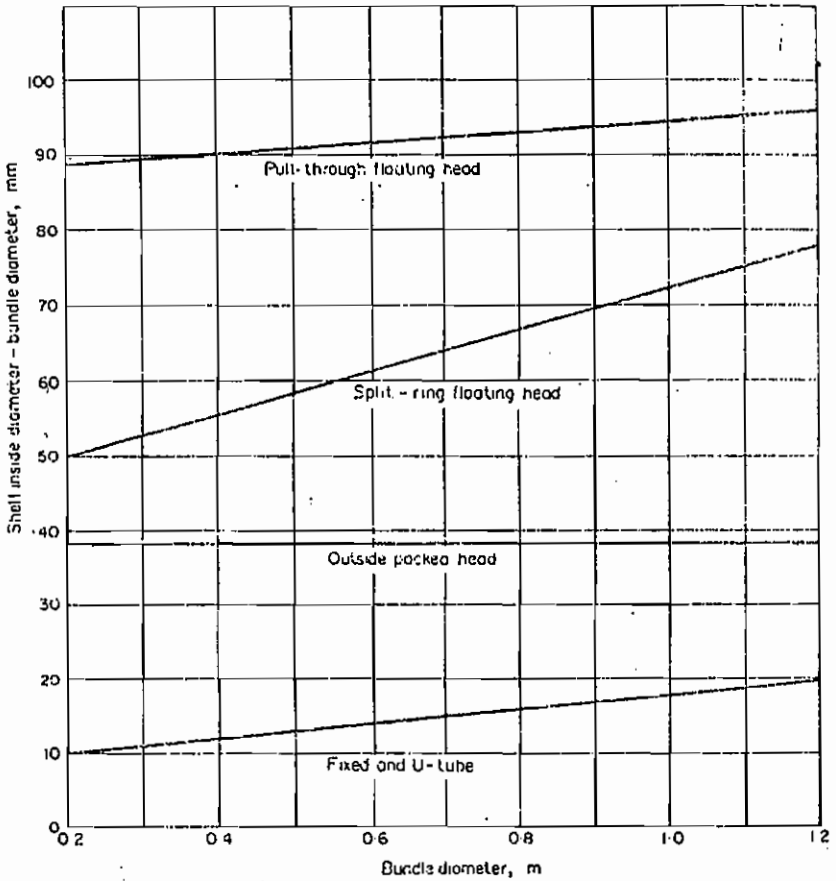


FIG. 12.10. Shell-bundle clearance

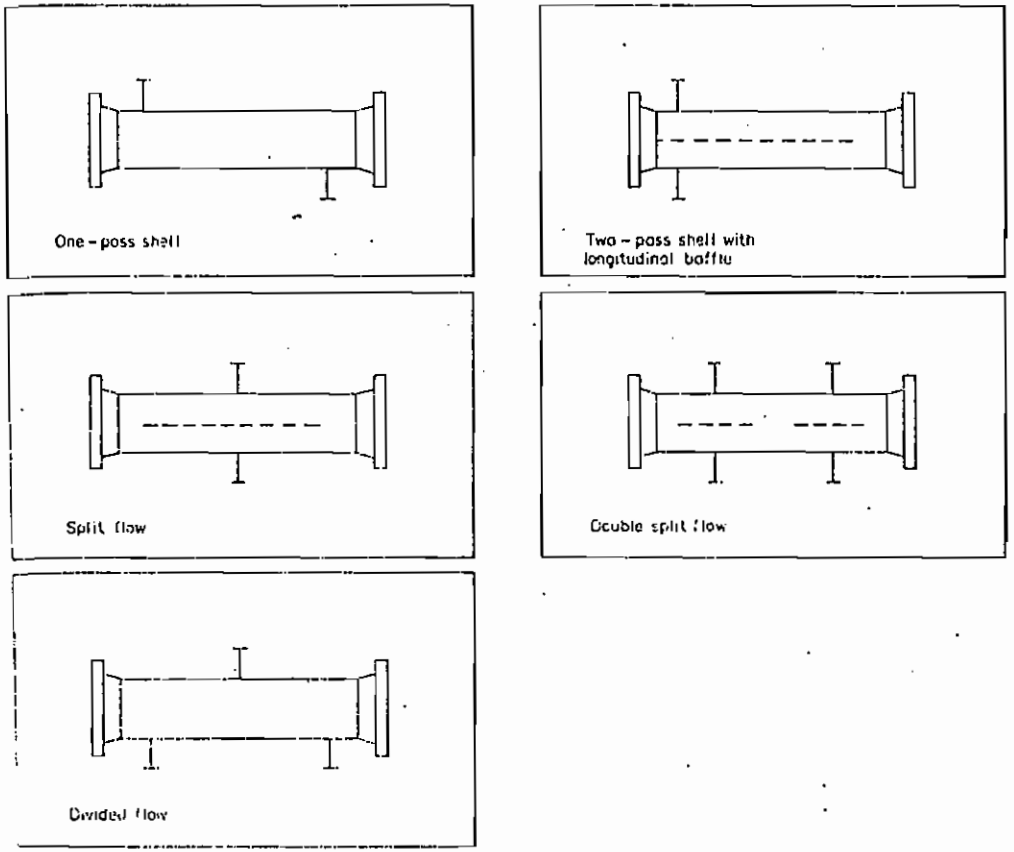


FIG. 12.12. Shell types (pass arrangements)

TABLE 12.5. *Typical baffle clearances and tolerances*

Shell diameter, D_s	Baffle diameter	Tolerance
Pipe shells		
6 to 25 in. (152 to 635 mm)	$D_s - \frac{1}{16}$ in. (1·6 mm)	$+\frac{1}{32}$ in. (0·8 mm)
Plate shells		
6 to 25 in. (152 to 635 mm)	$D_s - \frac{1}{8}$ in. (3·2 mm)	$+0, -\frac{1}{32}$ in. (0·8 mm)
27 to 42 in. (686 to 1067 mm)	$D_s - \frac{3}{16}$ in. (4·8 mm)	$+0, -\frac{1}{16}$ in. (1·6 mm)

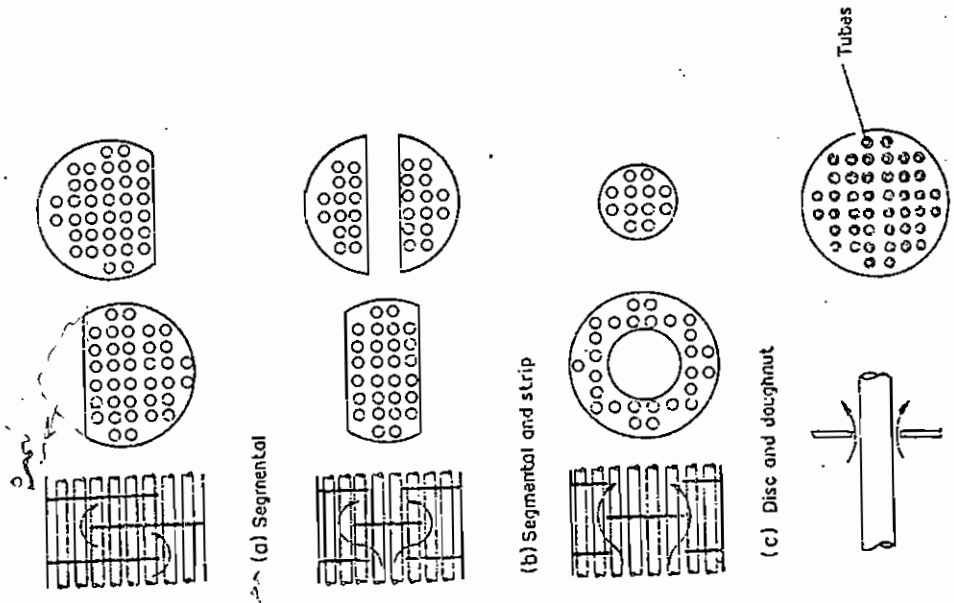


FIG. 12.13. Types of baffle used in shell and tube heat exchangers

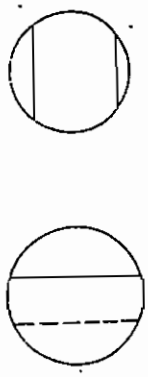


FIG. 12.14. Baffles for condensers

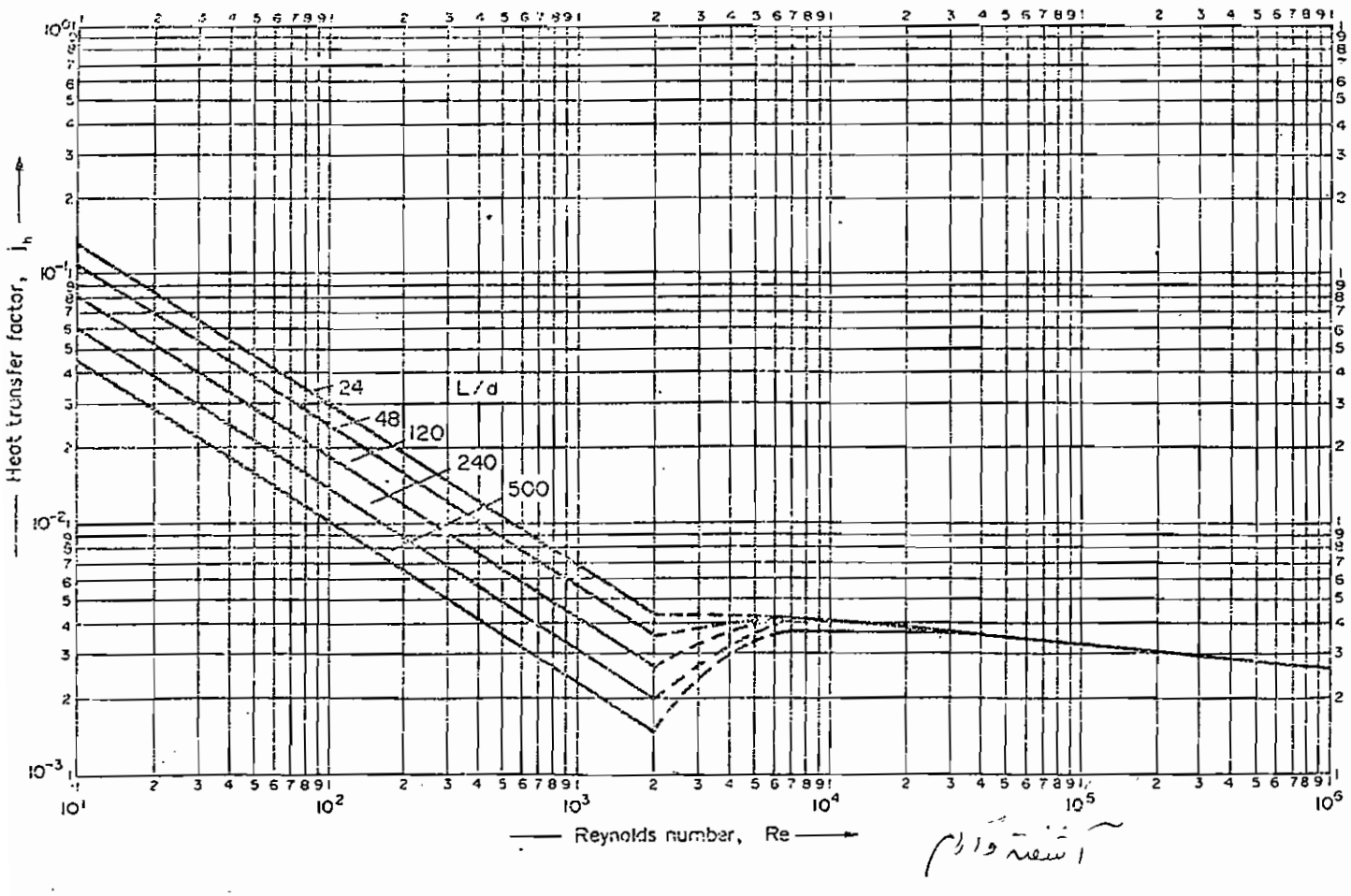


FIG. 12.23. Tube-side heat-transfer factor

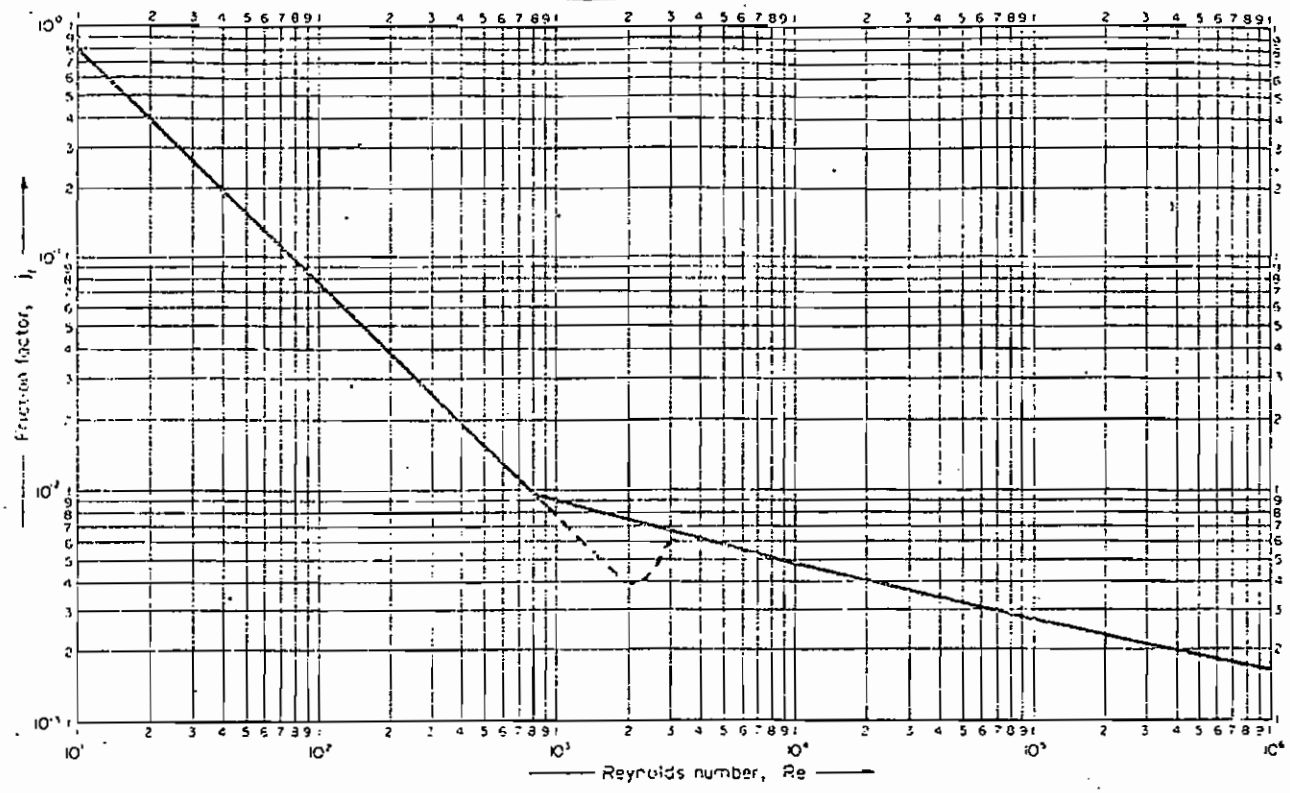
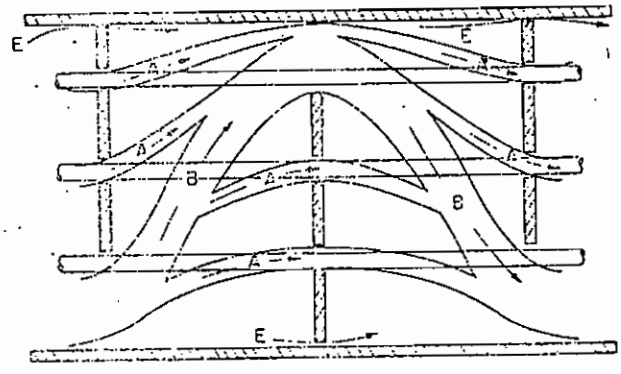


FIG. 12.24. Tube-side friction factors

Note: The friction factor j_f is the same as the friction factor for pipes $\phi\left(=\frac{R}{\rho u^2}\right)$, defined in Volume 1 Chapter 3.



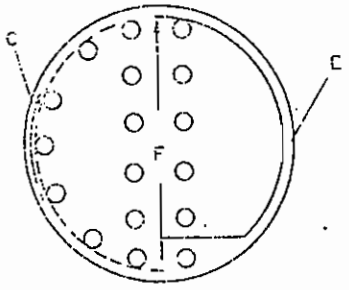


FIG. 12.26. Shell-side leakage and by-pass paths

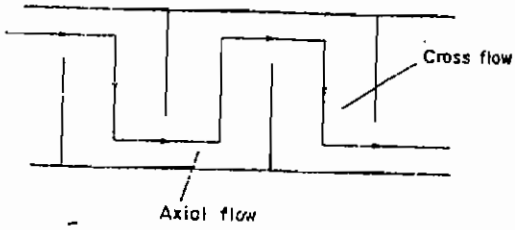


FIG. 12.25. Idealised main stream flow

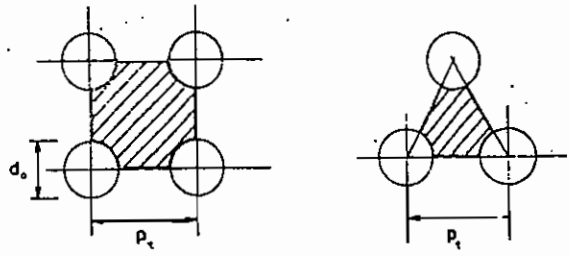


FIG. 12.28. Equivalent diameter, cross-sectional areas and wetted perimeters

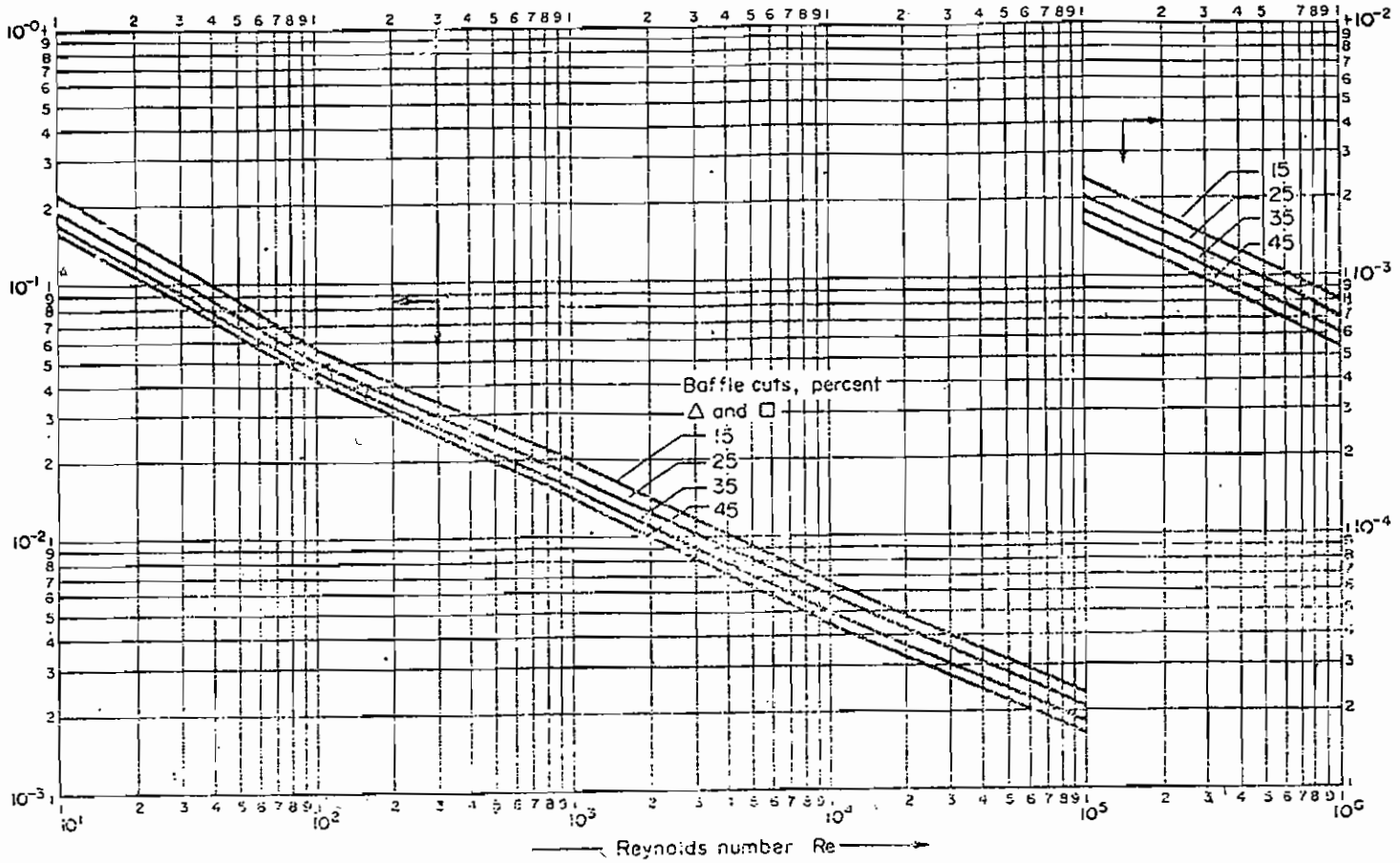


Fig. 12.29. Shell-side heat-transfer factors, segmental baffles

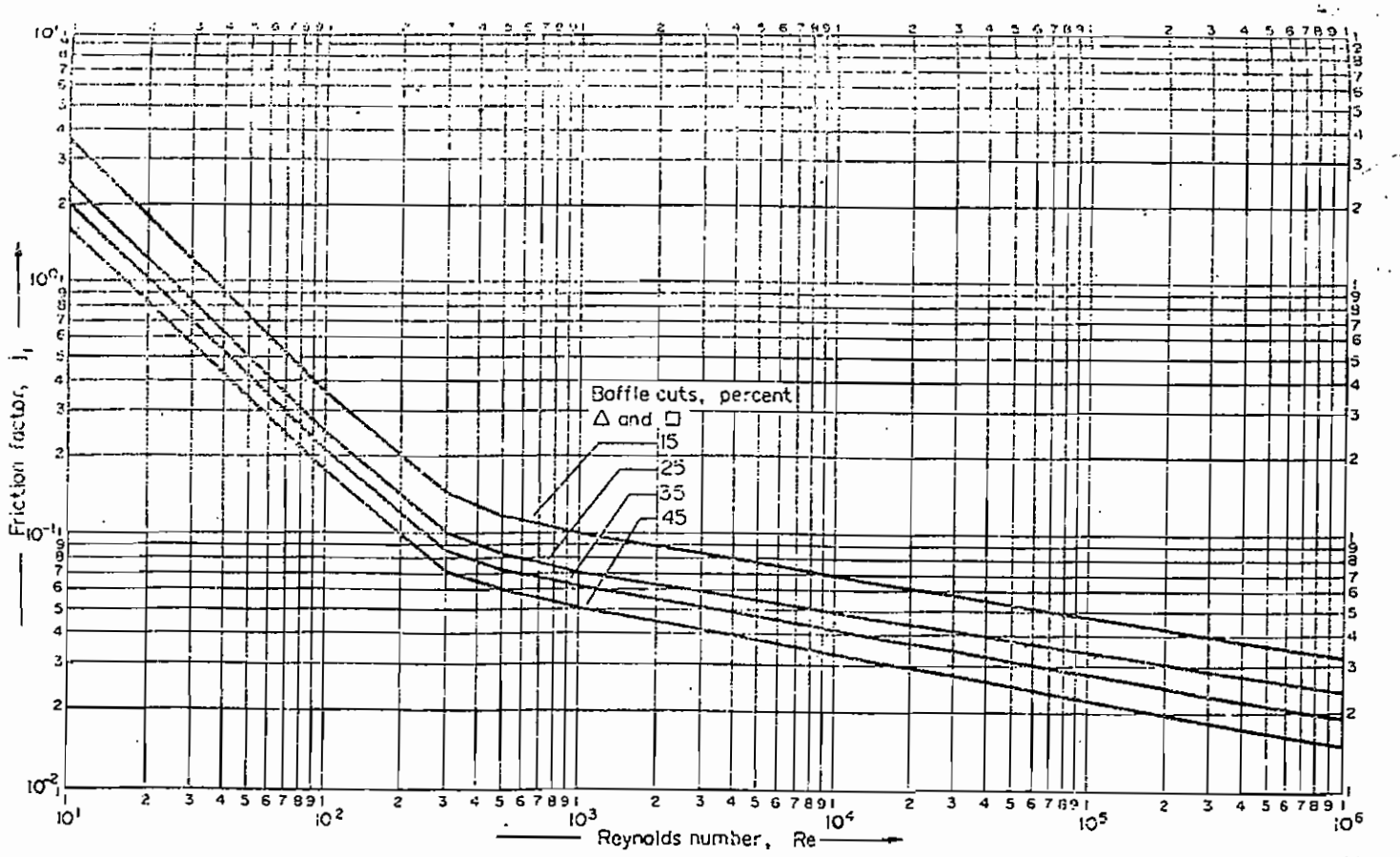


Fig. 12.30. Shell-side friction factors, segmental baffles

TECNIMONT / NARGAN

HEAT EXCHANGER DATA SHEET

IDENTIFICATION CODE										
JOB				E	C	T		N		
2	9	7	6	V	E	F	P	7	0	4

PLANT . PP-BANDAR-IMAM-IRAN | CLIENT N.P.C. PIDM.CO | SHEET 0 0 1 | ISS. 0 0

REV. 0 | DWG N° 40-DSH-PR-0707 | PIDM.CO

NATIONAL PETROCHEMICAL COMPANY · PETROCHEMICAL INDUSTRIES DEVELOPMENT MANAGEMENT COMPANY

SERVICE PROPYLENE SUBCOOLER (SUMMER) — ITEM 40-E-7004 (SUMMER)

TYPE BEM HORIZONTAL — TEMA CLASS R — N. OF UNITS 1

SHELL/UNIT 1 — ARRANGEMENT — SURFACE/UNIT 63.00 m2

DATA OF ONE UNIT

			SHELL SIDE		TUBE SIDE	
FLUID			HYDROCARBON		COOLING WATER	
FLOWRATE		kg/h	25 000.0		63 100.0	
LIQUID	GAS AND VAPORS		INLET	OUTLET	INLET	OUTLET
COOLING WATER					63 100.0	63 100.0
HYDROCARBONS			25 000.0	25 000.0		

			INLET	AVERAGE	OUTLET	INLET	AVERAGE	OUTLET
OPERATING TEMPERATURE		°C	53.0		40.0	35.0		39.0
OPERATING PRESSURE		bar g		22.50		5.50		
LIQUID	DENSITY	kg/m3	455.00		484.00			
	VISCOSITY	mPa s	0.044		0.056			
	SPECIFIC HEAT	kJ/(kg K)	3.51		3.05			
	THERMAL CONDUCTIVITY	W/m K	0.09200		0.10000			
	SURFACE TENSION	dyne/cm	3.4		4.9			
	BOILING POINT	°C						
VAPOR	MOLECULAR WEIGHT							
	DENSITY	kg/m3						
	VISCOSITY	mPa s						
	SPECIFIC HEAT	kJ/(kg K)						
	THERMAL CONDUCTIVITY	W/m K						
	DT/DP	°C / bar						
	LATENT HEAT	kJ/kg						
	DEW POINT	°C						
VELOCITY		m/s					1.55	
Δ P MAX. ALL./ACTUAL		bar	0.300 / 0.100			0.700 / 0.450		
FOULING FACTOR	Rf	m2 °C/W	0.000170			0.000340		
OVER DESIGN			ON TRANSFER RATE OR HEAT			ON DUTY AND FLOW		1.10

HEAT EXCHANGED Q 293.00 kW — LMTD (CORR.) ΔTm 7.7 °C

TRANSFER RATE U 698.00 W/(m2 K) — CALCULATED SURFACE/UNIT A 60.00 m2

CONSTRUCTION OF ONE SHELL

DESIGN PRESSURE	bar g	32.00	32.00
DESIGN PRESSURE 2	bar g	32.00	
DESIGN TEMPERATURE	°C	-45.0	240.0
DESIGN TEMPERATURE 2	°C	240.0	
MIN. METAL DESIGN TEMPERATURE	°C	-45.0	-5.0
START-UP TEMPERATURE	°C	(3)	(3)
NUMBER OF PASSES		1	4
CORROSION ALLOWANCE	mm	3.00	3.00

TUBES LTCS — NO. 292 OD/ID 19.05 / 14.83 mm LENGTH 3 660.00 mm PITCH 30° 23.81 mm

SHELL LTCS — ID Ds 489.00 mm — EXPANSION JOINT

CHANNEL LTCS — FLOATING HEAD COVER

CHANNEL COVER

TUBESHEET LTCS — INSULATION SHELL/TUBES

CROSS BAFFLES — TYPE SEGMENTAL HORIZONTAL — PITCH 175.00mm — CUT 22%

LONGITUDINAL BAFFLE — TYPE

TUBE WALL TEMP. CLEAN/DIRTY 39.0 / 41.0 °C — TUBE-TUBESHEET JOINT GROOVED,EXP AND WELDED

GASKETS SHELL SPIROTALLIC (TYPE 72) — TUBES SPIROTALLIC (TYPE 72)

ISSUE	DESCRIPTION	DRAWN UP	VERIFIED	APP'D	DATE
0	ISSUED FOR BASIC ENGINEERING	GR.B	COP	MNI	01/00

This document has been produced by Tecnimont for PIDM.CO, it is confidential and cannot be disclosed to or used by any third party for any purpose, without prior written consent.

TDBase 2.6b

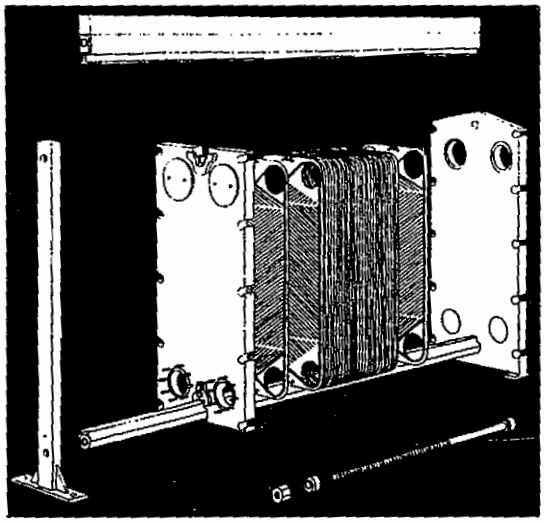


Figure 4.1 Exploded view of a typical gasketed-plate heat exchanger

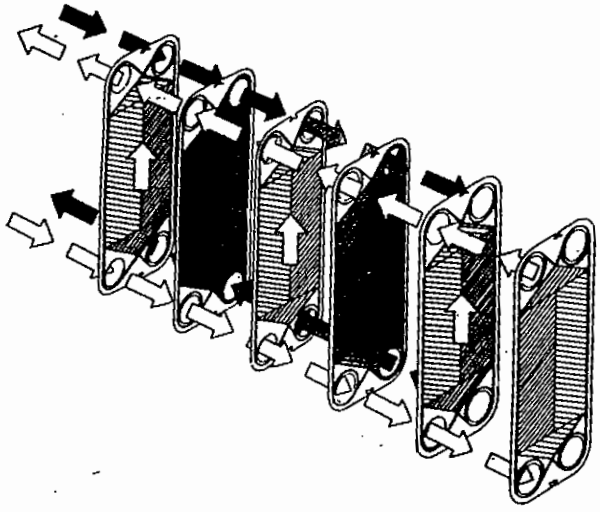


Figure 4.2 Flow pattern in a gasketed-plate heat exchanger

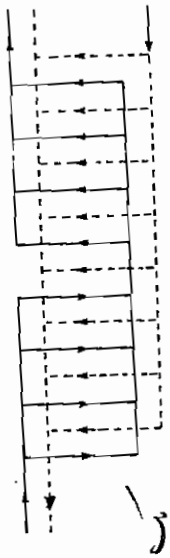


Figure 4.10 Two-pass/one-pass flow

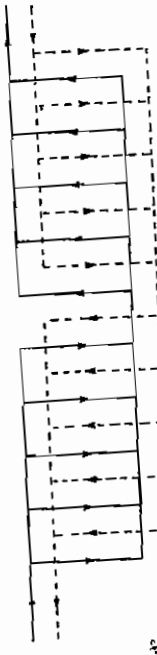


Figure 4.9 Two-pass/two-pass flow

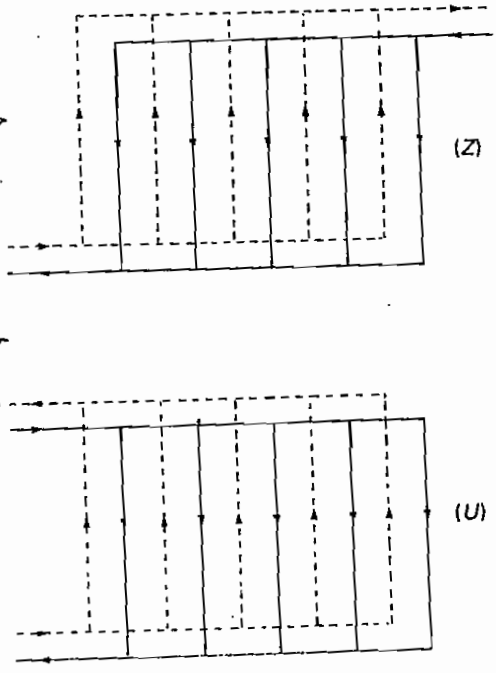


Figure 4.8 Countercurrent single-pass flow – Z and U arrangements

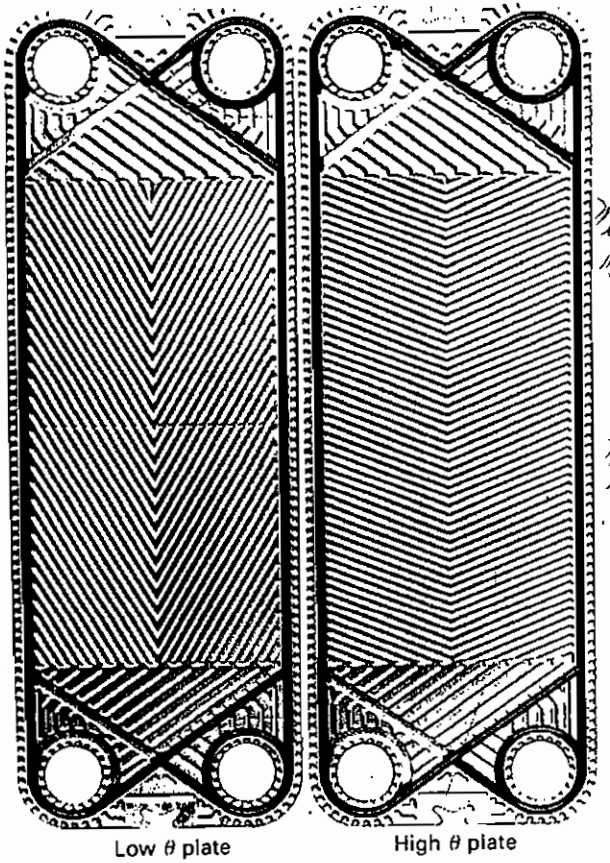


Figure 16.3 Mixed theta concept

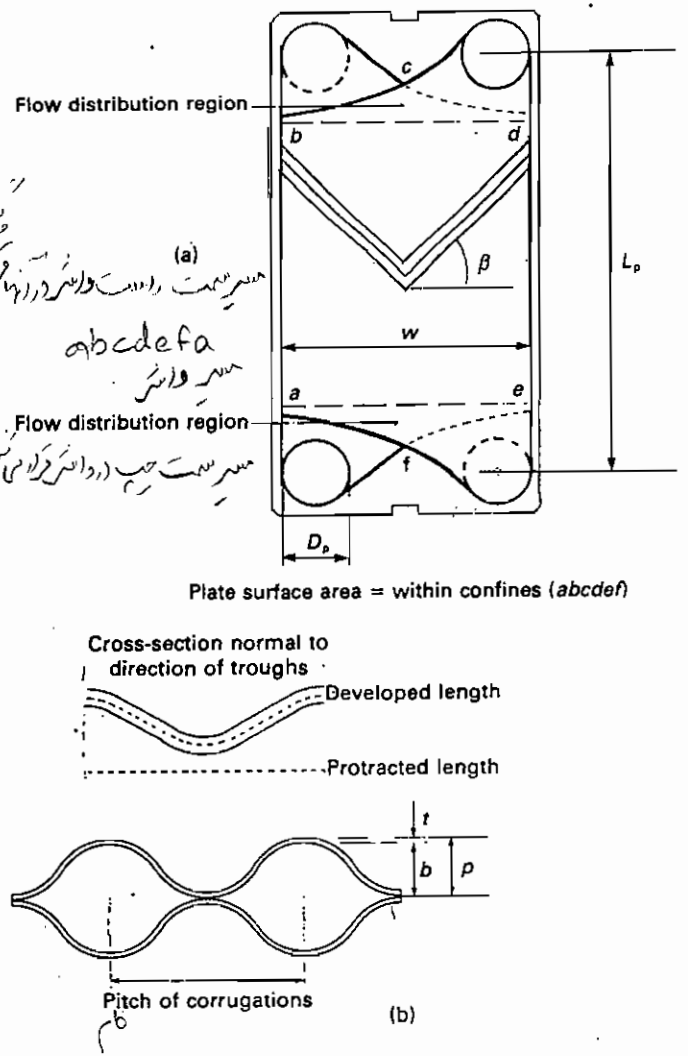


Figure 16.1 Plate geometry (chevron plates)

Table 16.1 Gasketed-plate heat exchangers. Constants for single-phase heat transfer and pressure loss calculations

Chevron angle (degrees)	Heat transfer			Pressure loss			
	Reynolds number	C_h	y	Reynolds number	K_p	z
⩽ 30	⩽ 10	0.718	0.349	< 10	50	1
	> 10	0.348	0.663	10 – 100	19.40	0.589
				> 100	2.990	0.183
45	< 10	0.718	0.349	< 15	47	1
	10 – 100	0.400	0.598	15 – 300	18.29	0.652
	> 100	0.300	0.663	> 300	1.441	0.206
50	< 20	0.630	0.333	< 20	34	1
	20 – 300	0.291	0.591	20 – 300	11.25	0.631
	> 300	0.130	0.732	> 300	0.772	0.161
60	< 20	0.562	0.326	< 40	24	1
	20 – 400	0.306	0.529	40 – 400	3.24	0.457
	> 400	0.108	0.703	> 400	0.760	0.215
⩾ 65	< 20	0.562	0.326	< 50	24	1
	20 – 500	0.331	0.503	50 – 500	2.80	0.451
	> 500	0.087	0.718	> 500	0.639	0.213

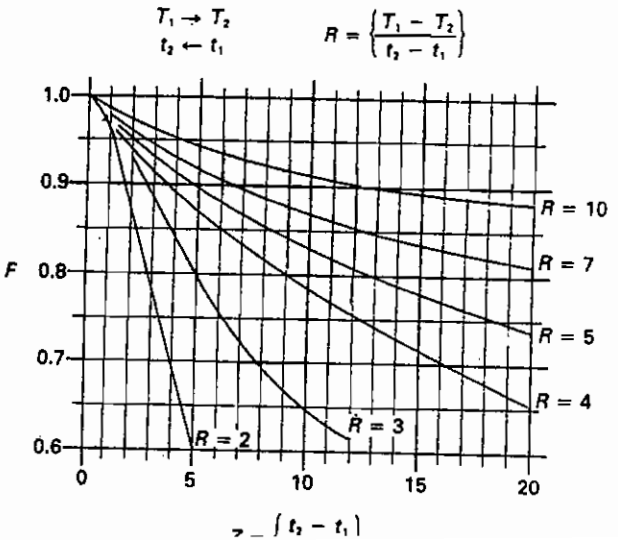


Figure 16.2 Temperature difference correction factor (F) for gasketed-plate heat exchangers – two-pass/one-pass system (applicable to 20 or more plates) (courtesy of APV International)

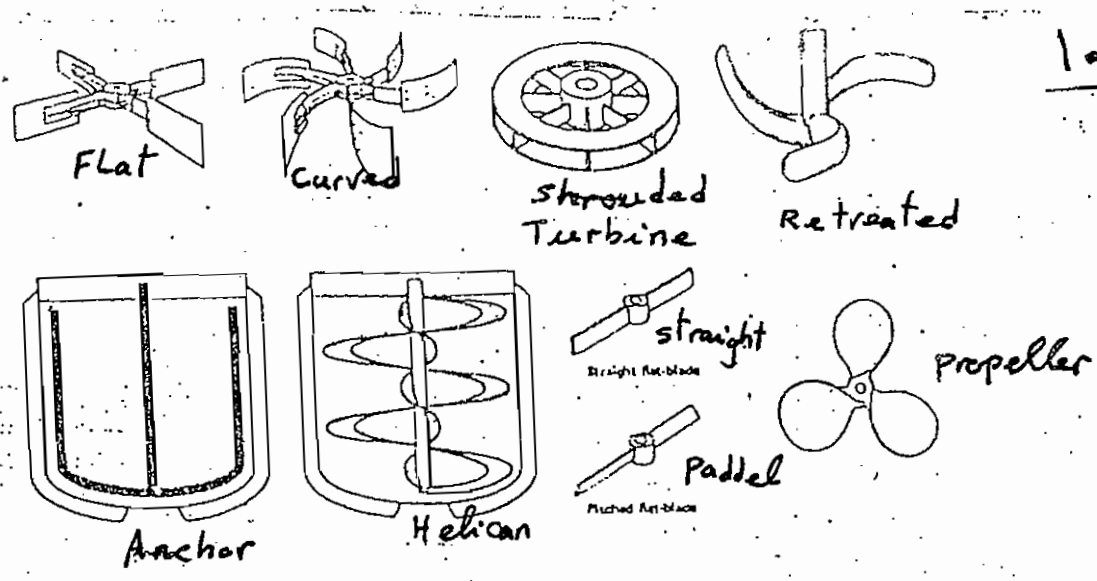


FIG. 1. Flat-blade turbine (a) and propeller handle majority of mixing services; applications of other types are more specialized, such as curved blade (b) for fibrous materials; anchor and ribbon for viscous materials.

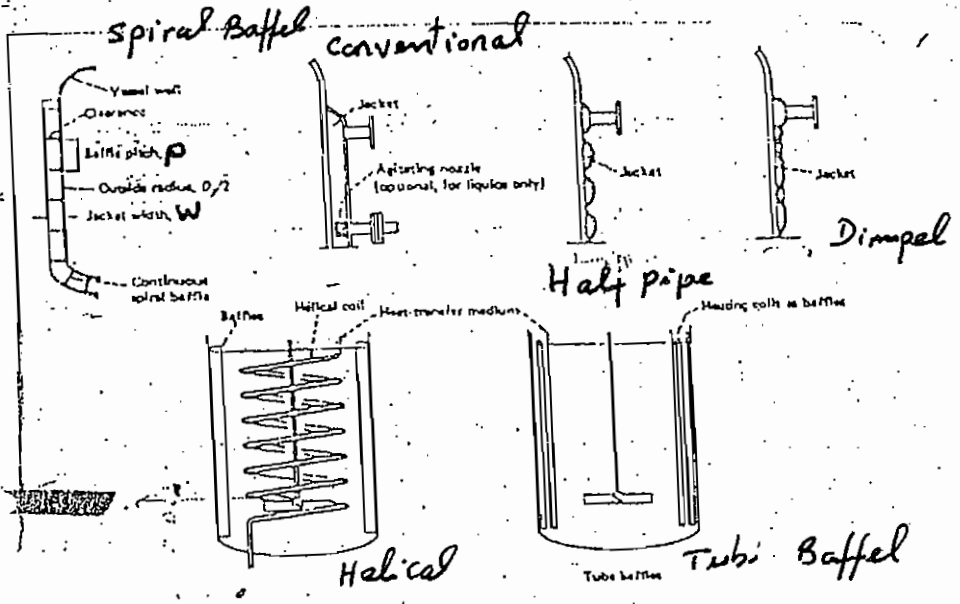
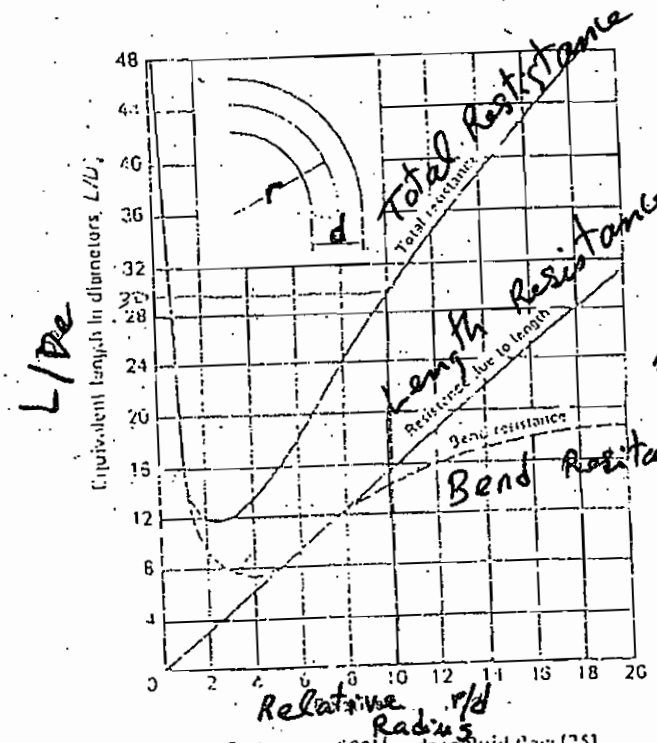


FIG. 2. Common arrangements of heat-transfer jackets and internal coils.



$$L/De \qquad \Delta P = 8 j_f \frac{L}{De} \frac{\rho u^2}{2}$$

FIG. 7. Resistance of 90° bends to fluid flow [25].

مخازن ژاکت دار:

$$\frac{1}{u}=\frac{1}{h_i}+\frac{1}{h_{id}}+\frac{\delta}{k}+\frac{1}{h_{od}}+\frac{1}{h_o}$$

h_o برای جریان درون ژاکت از همان روابط لوله تنها به جای d مقدار d_e قرارداده می‌شود.

برای تعیین h_I :

$$Nu=\frac{h_i D_T}{k}=CRe^{0.67}\,Pr^{1/3}\,(\mu/\mu_w)^{0.14}$$

مخزن استاندارد: $Z/D_T=1$ و $D/D_T=1/3$

◆Flat Blade Turbine- 6 Blade	Re>400	C=0.74
◆Flat Blade Turbine- 6 Blade	Re<400	C=0.54
◆4 Blade Retreating Turbine	C=0.68 for metal	C=0.33 for glass
◆45^0 Propeller- 4 Blade	C=0.54	
◆Straight paddle- 4 Blade	Re=20-4000	C=0.415

◆Anchor $Nu=\frac{h_i D_T}{k}=CRe^{a}\,Pr^{1/3}(\mu/\mu_w)^{0.14}$

30<Re<300	C=1	a=½
300<Re<4000	C=0.38	a=2/3
4000<Re<37000	C=0.55	a=2/3

◆Helical

Re<130 $Nu=0.248\,Re^{\frac{1}{2}}\,Pr^{1/3}(\mu/\mu_w)^{0.14}(e/D)^{0.22}(i/D)^{0.28}$

Re>130 $Nu=0.238\,Re^{\frac{2}{3}}\,Pr^{1/3}(\mu/\mu_w)^{0.14}(i/D)^{0.25}$

مخازن کویل‌دار

$$\frac{1}{u_o}=\frac{1}{h_o}+\frac{1}{h_{od}}+\frac{d_o \ln\frac{d_o}{d_i}}{2k_w}+\frac{d_o}{d_i}\left(\frac{1}{h_{id}}+\frac{1}{h_i}\right)$$

$$h_i \text{ کویل} = h_i \text{ مستقیم}\,(1+3.5\frac{d_I}{D_c})$$

برای مخزن استاندارد مقدار قطر کویل D_c نصف قطر مخزن D_T است.

◆6 Blade Retreating Blade $\frac{h_o D_T}{k}=1.4\,R_e^{0.62}\,Pr^{1/3}(\mu/\mu_w)^{0.14}$

◆45^0 Propeller- 3 Blade $\frac{h_o d_o}{k}=0.078\,R_e^{0.62}\,Pr^{1/3}(\mu/\mu_w)^{0.14}$

◆2 Blade Paddle $\frac{h_o D_T}{k}=0.87\,R_e^{0.67}\,Pr^{1/3}(\mu/\mu_w)^{0.14}$

Re داخل مخزن $=\frac{\rho N D^2}{\mu}$ و D = مخزن همزن و D_T = قطر مخزن و N=r.p.s

d_c = قطر خارجی لوله کویل و D_c = قطر کویل و Z = ارتفاع مایع