مطالعه مطالب بیشتر در کانال صنعت تهویه و تاسیسات
https://telegram.me/hvacmag

طراحی کویل های انبساط مستقیم (DX Coil)

نویسنده : مهندس وحید وکیل الرعایا

چکیده

در کویل های انبساط مستقیم که معمولاً در سیستم های تهویه مطبوع خانگی و تجاری به کار می روند با درجه حرارت تبخیر مبرد به کار رفته (نظیر HCFC-۲۲، HFC۴۰۷A ، HFC۴۱۰A، HFC۴۰۴A، HFC۱۳۴a و HFC۴۰۷C در سمت لوله های کویل معمولاً ۳۷ تا ۵۲ درجه فارنهایت است. (۲٫۸ تا ۱۱٫۱ درجه سانتیگراد) . از طرفی درجه حرارت سطح کویل معمولاً پایین تر از درجه حرارت نقطه شبنم هوای ورودی به کویل است و در نتیجه در روی سطح خارجی کویل تقطیر رخ داده و آن را مرطوب می کند. بنابراین کاری که یک کویل DX انجام می دهد عبارت است از فرآیند سرمایش و رطوبت گیری ، لذا علاوه بر فرآیند انتقال حرارت، یک فرآیند انتقال جرم نیز محسوب می شود .

ساختمان و اصول کویل های DX :

معمولاً در کویل های انبساط مستقیم که از مبردهای هالو کربن استفاده می کنند از لوله های مسی و فینهای آلومینیومی استفاده می شود. قطر لوله های مسی غالباً $\frac{3}{8}$اینچ تا $\frac{5}{8}$اینچ (۱۰ تا ۱۶ میلی متر) می باشد. فاصله فین ها از همدیگر در این کویل ها معمولاً به صورت ۱۲ تا ۱۸ فین در هر اینچ می باشد (۱,۴ تا ۲ فین در هر میلیمتر). ضخامت هر فین غالباً ۰,۰۰۶ اینچ (۰,۱۵mm) است . فین های صفحه ای موجدار (Corrugated plate fins) اغلب برای افزودن بر آشفتگی (turbulence) و در نتیجه افزایش انتقال حرارت به کار می روند . در روی سطح داخلی لوله های مسی این کویل ها، معمولاً از میکروفین با فاصله ۶۰ فین در هر اینچ (۰,۴۲ فین در هر میلی متر) و ارتفاع ۰,۰۰۸ in (۰,۲mm)برای بالا بردن نرخ انتقال حرارت جوششی استفاده می شود. تجربیات نشان می دهند که برای کویل هایی که از مبرد HFC-۱۳۴a استفاده می کنند، لوله هایی که سطح داخلی آنها میکروفین دارد در مقایسه با لوله های صاف دارای فاکتور افزایش انتقال حرارت ۱,۵ تا ۲,۵ برابر در تقطیر یا تبخیر می باشند . در تحلیل و محاسبات مربوط به عملکرد کویل های آب سرد، آب گرم و انبساط مستقیم ؛ مقادیر $\frac{A_o}{A_i}$ ، مقدار فین در هر اینچ و فاصله بین لوله‌ها به عنوان پارامترهای اصلی مورد استفاده قرار می گیرند. A_o بیانگر سطح خارجی کویل شامل لوله و فین و A_i بیانگر مساحت سطح داخلی کویل می‌باشند . بسیاری از سازندگان کویل برای بهینه سازی ساخت و کاهش هزینه های آن و همچنین به علت افزایش نرخ انتقال حرارت کویل و کاهش افت فشار آن از مقادیر زیر در طراحی کویل استفاده می کنند .

فاصله طولی بین لوله ها (Longitudinal tube spacing)=S_L=1.083 in (27.5 mm)

فاصله عرضی بین لوله ها (Transverse tube spacing)=S_T=1.25 in (31.8 mm)

قطر خارجی اسمی لوله مسی = D_o=0.5 in (23mm)

ضخامت فین آلومینیومی =F_t=0.006 in (0.15mm)

جدول زیر سایر مشخصه های به کار رفته در ساختمان کویل های با فین صاف را بر حسب داده های فوق ارایه داده است :

Finned – Tube coil construction parameters

Outside diameter of copper tube D_o	0.528 in
Inner diameter of copper tube D_i	0.496 in
Aluminum Fin Thickness F_t	0.006 in
Longitudinal tube spacing	1.083 in
Transverse tube spacing	1.25 in

Fin spacing S_f

Fin/in	in	A_o/A_p	A_o/A_i	A_f/A_o	F_s	S_f/F_t
8	0.125	7.85	7.95	0.873	9.91	20.8
10	0.100	9.68	9.68	0.896	12.07	16.7
12	0.0833	11.54	11.4	0.913	14.21	13.9
14	0.0714	13.46	13.17	0.925	16.37	11.9
15	0.0667	14.47	14.03	0.928	17.48	11.1

شرکت تهران مبدل
سهولت بازدید حین ساخت و بازرسی های مرحله‌ای، تحویل و مراجعه با توجه به موقعیت و محل استقرار کارخانه و دفتر مرکزی

مرصوص
گستره عملکرد، انواع فن کوئل، تهویه مطبوع مرکزی ، کولر آبی، گرمایش از کف
3.5" LCD TOUCH SCREEN
www.marsusgroup.com

ایران جهش Iran Jahesh
طراحی و ساخت انواع بوستر پمپ‌های آبرسانی آتش نشانی و آبیاری به صورت کاملاً هوشمند
www.iranjahesh.com

در جدول فوق A_p مساحت خارجی لوله های مسی کویل و A_f مساحت فین‌ها می‌باشد. همچنین این جدول برای فین های صاف ارایه شده و در صورت استفاده از فین‌های موجدار مقادیر $\frac{A_o}{A_p}$، $\frac{A_o}{A_i}$ و F_s باید در ضریب تصحیحی بین ۱,۱ تا ۱,۲ ضرب شوند .

بخاطر کاهش افت فشار در فرآیند توزیع مبرد در لوله‌های کویل معمولاً در یک کویل انبساط مستقیم؛ مسیر جریان مبرد به چندین مدار تقسیم می‌شود. کنترل مبرد معمولاً از طریق یک شیر انبساط ترموستاتیکی انجام می شود. سپس مطابق شکل مبرد از طریق یک توزیع کننده به طور مساوی بین لوله‌ها تقسیم می شود .

برای عملیات توزیع مبرد اغلب از یک و نتوری استفاده می‌شود. این توزیع‌کننده از طریق لوله های مسی به قطر اینچ $\frac{1}{4}$ یا $\frac{5}{16}$ اینچ (۶,۵ یا ۱۶ میلی‌متر) به مدار توزیع مبرد متصل می‌شود. همچنین برای ایجاد یک جریان مخالف بین مبرد و هوا یک هدر مکش باید نزدیک به محل ورود هوا به کویل نصب شود .

شرکت تهران مبدل
سی و سه سال تجربه در امور طراحی، مشاوره و ساخت سیستم های تاسیساتی،گرمایشی و سرمایشی، تهویه مطبوع، سردخانه ای، نفت، گاز و پتروشیمی
www.tehranmobaddel.com info@tehranmobaddel.com

شرکت فراسرد
سردخانه / آیس بانک / چیلر / یخساز قالبی
پکیج سردکننده شیر / تجهیزات برودتی خاص
www.farasardco.com

TAKBAN CONTROL ENERGY تکبان کنترل انرژی
تکبان ، بنیانگذار و تنها تولیدکننده بیش از چهل نوع ترموستات حرارتی
شیرهای ترموستاتیک رادیاتور و گازی در ایران
در بخشهای : صنعتی، لوازم خانگی تأسیسات و ساختمان
www.takban.com

شبیه‌سازی انتقال جرم و حرارت توسط کویل‌های DX :

در یک کویل انبساط مستقیم ، پتانسیل حرکت برای انتقال همزمان جرم و حرارت در طی فرآیند سرمایش و رطوبت گیری کویل به دو علت به وجود می آید :

۱-اختلاف آنتالپی بین هوای محیط و فیلم هوای اشباعی که بین هوای روی کویل و رطوبت تقطیر شده روی کویل است .

۲-اختلاف درجه حرارت بین هوای روی لوله و بخار مبرد درون لوله .

نرخ این انتقال جرم و حرارت از رابطه زیر بدست می آید :

$$Q_{c,wet}=E_{wet}.60\ V_a\ P_a\ (h_{ae}-h_{s,r})$$

در رابطه فوق داریم :

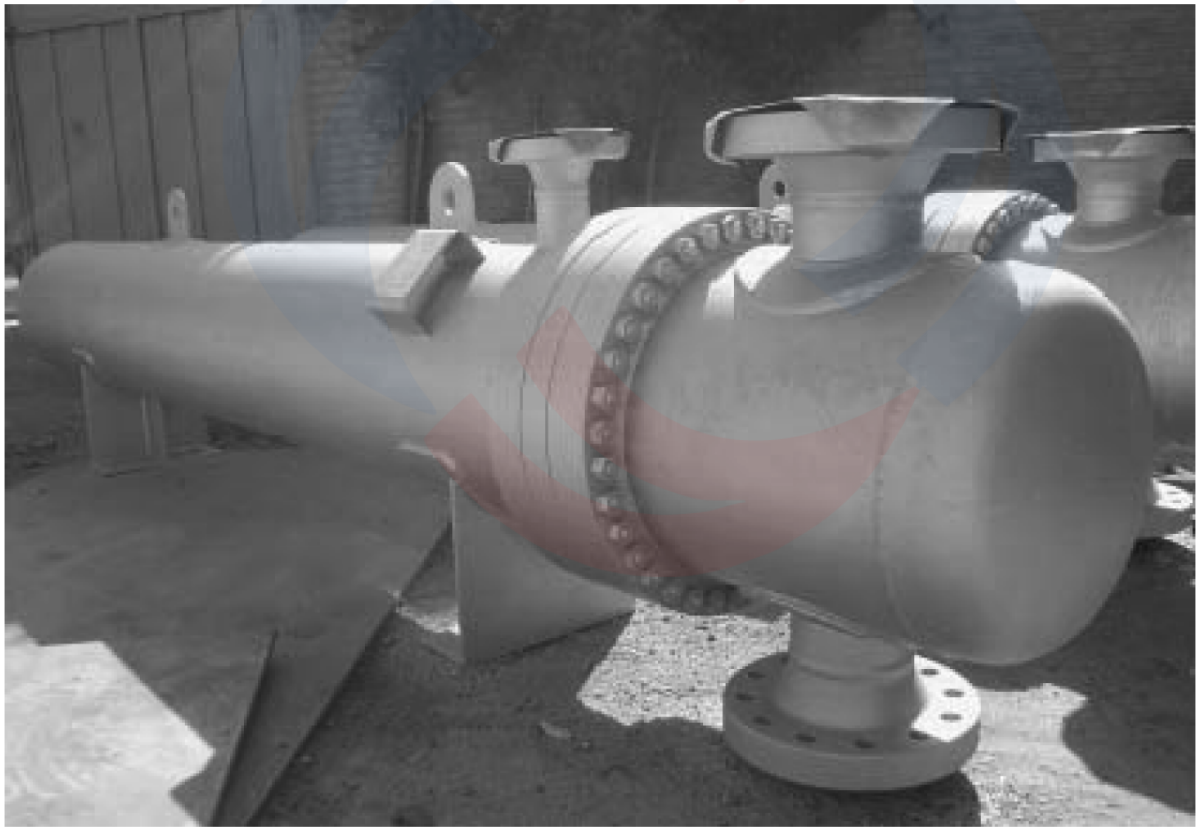
h_{ae} =آنتالپی هوای ورودی بر حسب $\frac{Btu}{lb}$ یا $\frac{J}{kg}$.

$h_{s,r}$= آنتالپی فیلم هوای اشباع روی سطح کویل در درجه حرارتی که مبرد داخل لوله تبخیر می شود بر حسب $\frac{Btu}{lb}$ یا $\frac{J}{kg}$.

V_a= نرخ جریان حجمی هوا بر روی کویل بر حسب cfm یا $\frac{m^3}{\min}$.

P_a= دانسیته هوا بر حسب $\frac{lb}{ft^3}$ یا $\frac{kg}{m^3}$.

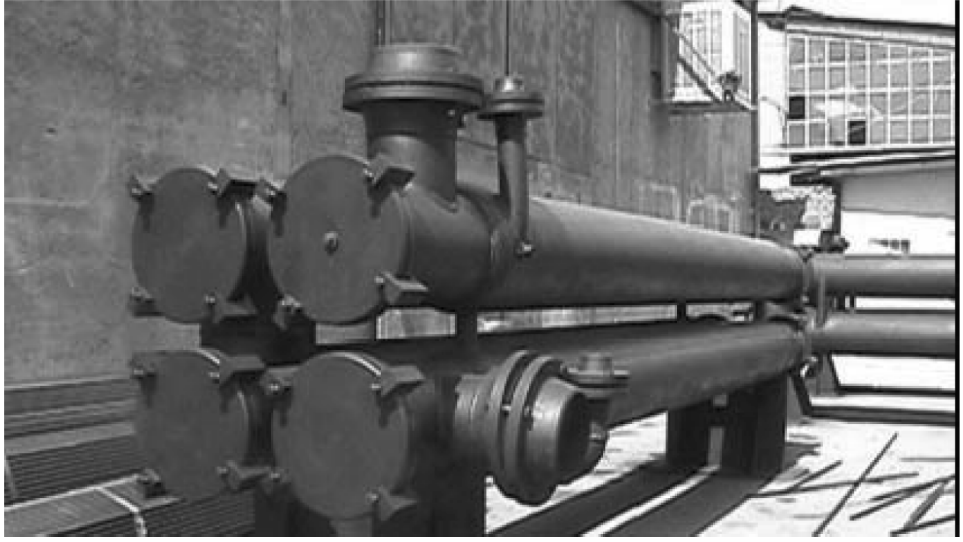
E_{wet}= راندمان کویل .



شرکت تهران مبدل
سهولت بازدید حین ساخت و بازرسی های مرحله‌ای، تحویل و مراجعه با توجه به موقعیت و محل استقرار کارخانه و دفتر مرکزی

مرصوص
گستره عملکرد، انواع فن کوئل، تهویه مطبوع مرکزی ، کولر آبی، گرمایش از کف
3.5" LCD TOUCH SCREEN
www.marsusgroup.com

ایران جهش Iran Jahesh
طراحی و ساخت انواع بوستر پمپ‌های آبرسانی آتش نشانی و آبیاری به صورت کاملاً هوشمند
www.iranjahesh.com



راندمان کویل (DX Coil Effectiveness):

راندمان یک مبدل حرارتی که با E نشان داده می شود؛ بصورت نرخ واقعی انتقال حرارت بین سیال گرم و سیال سرد به ماکزیمم نرخ ممکن انتقال حرارت بین آنها تعریف می شود. راندمان یک کویل DX از رابطه زیر قابل محاسبه است :

$$E_{wet}= \frac{h_{ae}-h_{al}}{h_{ae}-h_{s,r}}$$

رابطه فوق را می توان به صورت زیر بازنویسی نمود :

$$h_{al}= h_{ae}-E_{wet}\ (h_{ae}-h_{s,r})$$

h_{al} آنتالپی هوای خروجی از کویل است . پس از محاسبه مقدار h_{al} و با در اختیار داشتن شرایط ورودی هوا می توان به کمک چارت سایکرومتریک مقادیر درجه حرارت های خشک و مرطوب هوای خروجی از کویل را بدست آورد . برای سهولت محاسبات می توان درجه حرارتی را که در آن مبرد بخار می شود، ثابت فرض کرد. همچنین اگر C_{min} و C_{max}مقادیر حداقل و حداکثر ظرفیت حرارتی بین هوای روی لوله و آب تقطیر شده روی لوله باشند، آنگاه با فرض ثابت بودن درجه حرارت بخار مبرد داریم :

از طرف دیگر برای راندمان کویل DX می توان رابطه زیر را نوشت : $\frac{C_{min}}{C_{max}}=0$

$$E_{wet}= 1- \exp\ (NTU)$$

که در آن NTU مقدار واحدهای انتقال حرارت کویل DX بوده و از رابطه زیر محاسبه می شود :

$$NTU=\frac{U_0 A_0}{C_a}$$

U_o= ضریب انتقال حرارت کلی کویل بر حسب $\frac{Btu}{hr.ft^2.^\circ F}$ یا $\frac{w}{m^2.^\circ C}$.

A_o= مساحت کل سطح خارجی کویل شامل لوله و فین بر حسب فوت مربع یا متر مربع .

C_a= نرخ ظرفیت حرارتی هوای مرطوب روی کویل بر حسب $\frac{Btu}{hr.^\circ F}$ یا $\frac{w}{^\circ C}$.

مقدار C_a از رابطه زیر بدست می آید:

$$C_a= 60\ V_a P_a C_{pa}$$

شرکت تهران مبدل
سی و سه سال تجربه در امور طراحی، مشاوره و ساخت سیستم های تاسیساتی،گرمایشی و سرمایشی، تهویه مطبوع، سردخانه ای، نفت، گاز و پتروشیمی
www.tehranmobaddel.com info@tehranmobaddel.com

شرکت فراسرد
سردخانه / آیس بانک / چیلر / یخساز قالبی
پکیج سردکننده شیر / تجهیزات برودتی خاص
www.farasardco.com

TAKBAN CONTROL ENERGY تکبان کنترل انرژی
تکبان ، بنیانگذار و تنها تولیدکننده بیش از چهل نوع ترموستات حرارتی
شیرهای ترموستاتیک رادیاتور و گازی در ایران
در بخشهای : صنعتی، لوازم خانگی تأسیسات و ساختمان
www.takban.com

در رابطه فوق C_{pa} حرارت مخصوص هوای مرطوب و P_a دانسیته آن است . همچنین داریم :

$$U_0A_0 = \frac{1}{\frac{1}{h_0A_0\eta_s} + \frac{1}{h_iA_i}}$$

اجزای رابطه فوق عبارتند از :

h_o, h_i =ضرایب انتقال حرارت سطح خارجی کویل و سطح داخلی لوله بر حسب $\frac{Btu}{hr.ft^2.^\circ F}$ یا $\frac{w}{m^2.^\circ C}$.

A_i= مساحت سطح داخلی کویل بر حسب فوت مربع یا متر مربع .

η_s= راندمان کلی دسته فین ها بوده و از رابطه زیر محاسبه می شود :

$$\eta_s = \frac{1 - Af}{A_0(1 - \eta_f)}$$

A_f= مساحت فین ها و η_f راندمان یک فین بوده و η_f از رابطه زیر بدست می‌آید :

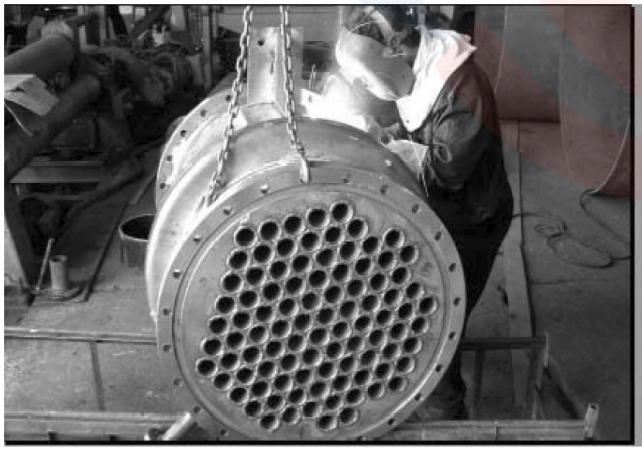
$$\eta_f = \frac{\text{انتقال حرارت واقعی}}{\text{انتقال حرارت وقتی فین در درجه حرارت پایه قرار بگیرد}}$$

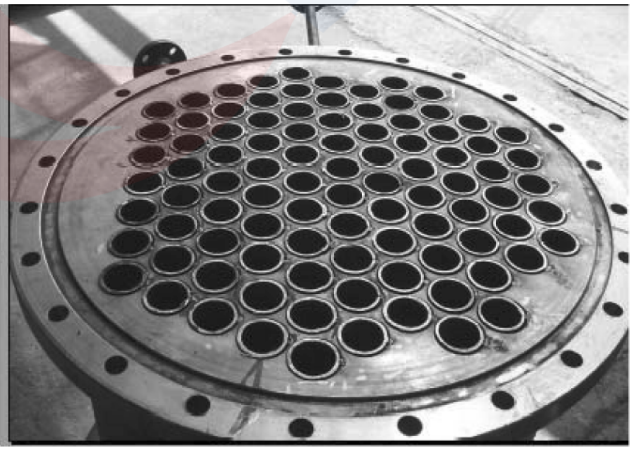
انتخاب کویل DX :

ظرفیت سرمایشی یک سیستم تهویه مطبوع تبریدی مثل پکیج یونیت ها دقیقاً ظرفیت برودتی کویل DX آنها می باشد و لذا امروزه برای این نوع سیستم های تهویه مطبوع یک الگوی مشخصی از کویل DX آنها شامل تعداد ردیف های کویل، تعداد فین ها در هر اینچ و فاصله عرضی و طولی لوله های کویل از یکدیگر مشخص شده است که در کاتالوگ سازنده ها موجود می‌باشد. چنانچه فرآیند سرمایش و رطوبت گیری از مخلوط هوای رفت و برگشتی مدنظر باشد ، معمولاً از دو، سه و یا چهار ردیف در کویل‌ها استفاده می‌شود و چنانچه این فرآیند برای صد در صد هوای تازه (Fresh Air) مدنظر باشد از یک کویل چهار یا شش ردیفه استفاده می‌شود . همچنین سرعت هوای روی کویل ها نیز نباید از ۵۵۰fpm(2.75m/s) بیشتر باشد .

مثال) یک کویل انبساط مستقیم در یک پکیج تهویه مطبوع با نرخ جریان حجمی۵۵۰۰cfm هوا ($\frac{lit}{sec}$ ۲۵۹۵) به کار رفته است . دمای خشک و مرطوب هوای ورودی به ترتیب(۲۶.۷C) ۸۰° F و(۱۹.۴C) ۶۷°F می باشد . کویل ۳ ردیفه بوده و دارای ۱۵ فین در هر اینچ ($\frac{fins}{m.m}$ ۱,۷) می باشد . درجه حرارت تبخیر مبرد درون لوله های کویل ۴۵°F(۷,۲C) و ضریب انتقال حرارت جوششی برای مبرد HCFC-۲۲ که در کویل استفاده می شود؛ (بوده و ضریب کلی انتقال حرارت سطح خارجی کویل (شامل لوله و فین) h_r=700 ($3975 \frac{Btu}{hr.ft^2.^\circ F}$) $\frac{w}{m^2.^\circ C}$ می باشد.

همچنین فین از نوع موجدار (Corrugate) بوده و راندمان کلی دسته فین ها η_s=۰,۷۶ می باشد. مطلوبست محاسبه ظرفیت سرمایشی کویل و درجه حرارت هوای خروجی از آن؟

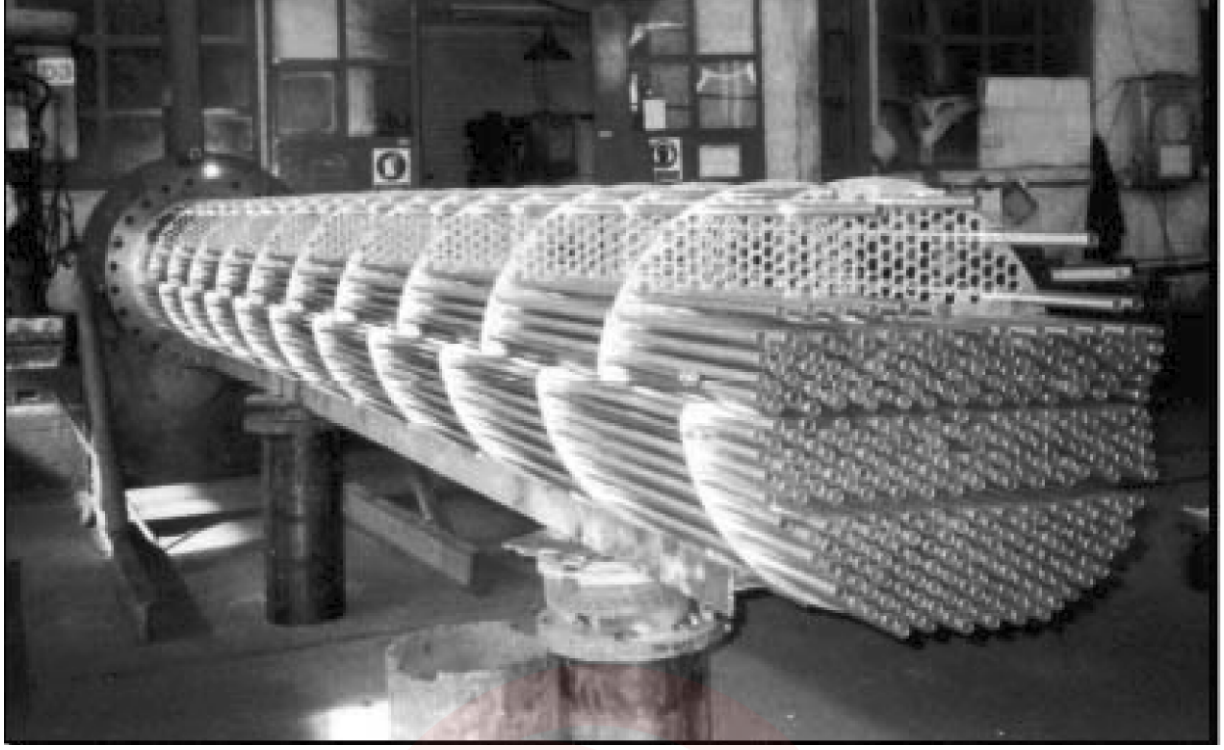




شرکت تهران مبدل
سهولت بازدید حین ساخت و بازرسی های مرحله‌ای، تحویل و مراجعه با توجه به موقعیت و محل استقرار کارخانه و دفتر مرکزی

مرصوص
گستره عملکرد، انواع فن کوئل، تهویه مطبوع مرکزی ، کولر آبی، گرمایش از کف
3.5" LCD TOUCH SCREEN
www.marsusgroup.com

ایران جهش
Iran Jahesh
طراحی و ساخت انواع بوستر پمپ‌های آبرسانی آتش نشانی و آبیاری به صورت کاملاً هوشمند
www.iranjahesh.com



حل) با فرض Va=۵۵۰ fpm برای سرعت هوای عبوری از روی لوله های کویل ، سطح موثر کویل (سطح در تماس با هوا) برابر خواهد شد با :

$$A_a=\frac{V_a}{V_a}=\frac{5500}{550}\rightarrow A_a=10\ ft^2$$

همچنین برای فین های موجدار (FPI=۱۵) از جدول مقادیر زیر بدست می آیند :

$$\frac{A_0}{A_i}=14.03\times1.15$$

$$F_s=17.48$$

بنابراین داریم :

$$A_0=F_s.N_r.A_a=17.48\times1.15\times3\times10=603\ ft^2(56m^2)$$

$$\frac{A_0}{A_i}=14.03\times1.15\rightarrow A_i=\frac{603}{14.03\times1.15}=37.4\ ft^2(3.5m^2)$$

$$U_0A_0=\frac{1}{\frac{1}{\eta_s h_0 A_0}+\frac{1}{h_r A_i}}=\frac{1}{\frac{1}{0.76\times12.9\times603}+\frac{1}{700\times37.4}}=4995\frac{Btu}{hr.^\circ F}$$

نرخ ظرفیت حرارتی هوا نیز به صورت زیر محاسبه می شود :

$$C_a=60\ V_aP_aC_{pa}=60\times5500\times0.075\times0.243=6014\frac{Btu}{hr.^\circ F}$$

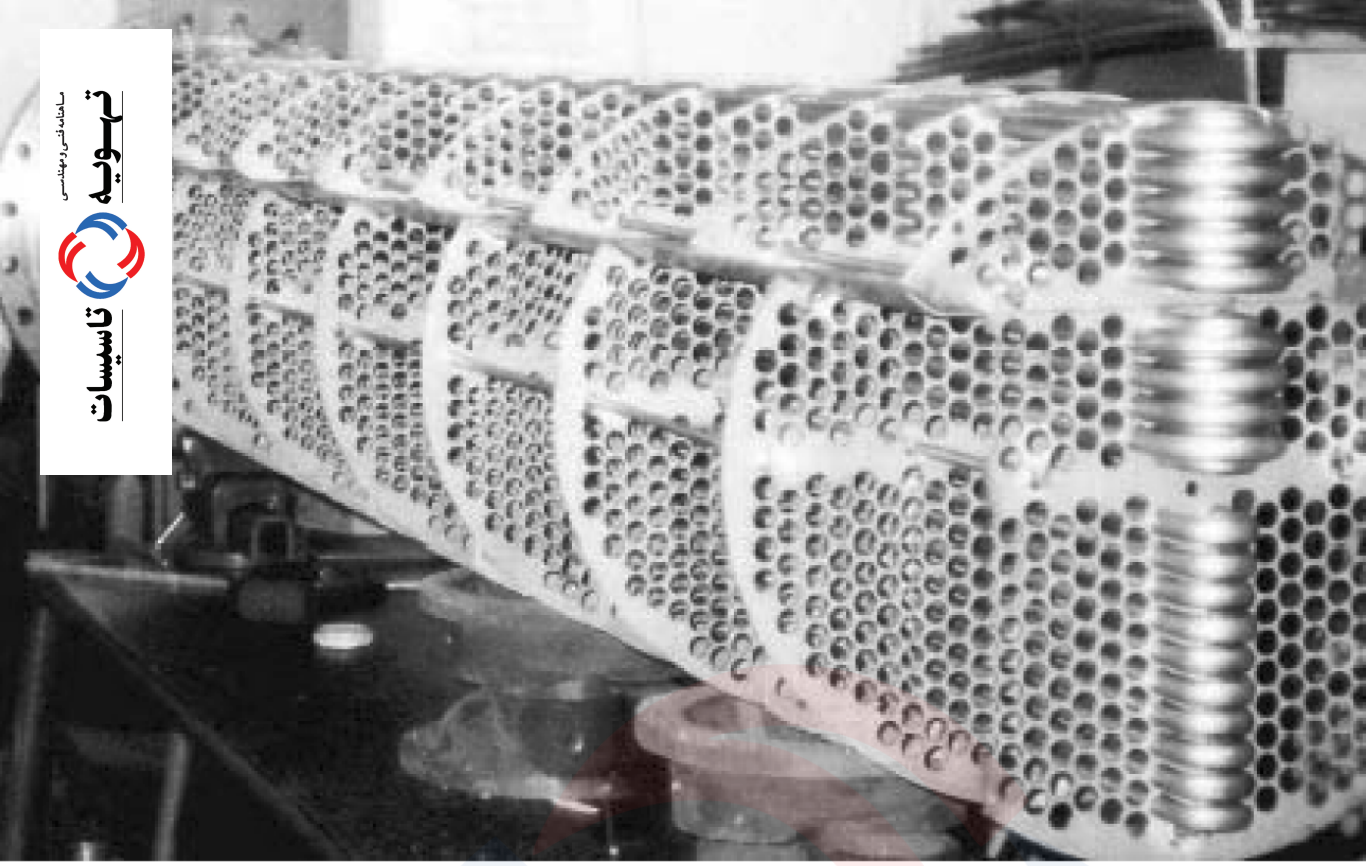
در نتیجه تعداد واحدهای انتقال حرارت برابر خواهد شد با :

$$NTU=\frac{U_0A_0}{C_a}=\frac{4995}{6014}=0.831$$

شرکت تهران مبدل
سی و سه سال تجربه در امور طراحی، مشاوره و ساخت سیستم های تاسیساتی،گرمایشی و سرمایشی، تهویه مطبوع، سردخانه ای، نفت، گاز و پتروشیمی
www.tehranmobaddel.com info@tehranmobaddel.com

شرکت فراسرد
سردخانه / آیس بانک / چیلر / یخساز قالبی
پکیج سردکننده شیر / تجهیزات برودتی خاص
www.farasardco.com

TAKBAN CONTROL ENERGY تکبان کنترل انرژی
تکبان ، بنیانگذار و تنها تولیدکننده بیش از چهل نوع ترموستات حرارتی
شیرهای ترموستاتیک رادیاتور و گازی در ایران
در بخشهای : صنعتی، لوازم خانگی تأسیسات و ساختمان
www.takban.com



و بنابراین راندمان کویل از رابطه زیر بدست می آید :

$$E_{wet}= 1- \exp(- NTU)=1- e^{-0.831}=1-0.436=0.564$$

با در نظر گرفتن تاثیر ناحیه سوپرهیت، بازده کویل باید در ضریب کاهش F_{super}=۰,۹۵ضرب شود :

$$E_{DX}=0.564\times0.95=0.536$$

با داشتن شرایط هوای ورودی به کویل از صورت مساله و چارت سایکرومتریک مقدار آنتالپی هوای ورودی برابرh_{ae} =۳۱,۶ بدست می‌آید. از طرف دیگر آنتالپی فیلم هوای اشباع روی لوله های کویل در درجه حرارت تبخیر T_{ev}= ۴۵° F برابر $h_{s,r}$=۱۷,۶۵ $\frac{Btu}{lb}$ می‌باشد . بنابراین ظرفیت سرمایشی کویل برابر خواهد شد با :

$$Q=60\ V_aP_aE(h_{ae}-h_{s,r})=600\times5500\times0.075\times0.536\times(31.6-17.65)$$

$$Q=185060\ \frac{Btu}{hr}=54223\ watt=15.42\ Ton\ Ref.$$

آنتالپی هوای تهویه شده خروجی از کویل نیز از رابطه زیر بدست می آید :

$$h_{al}= h_{ae}-\Delta h= h_{ae}-E(h_{ae}-h_{s,r})=31.6-0.536(31.6-17.65)= 24.1\ \frac{Btu}{lb}\ (56\ \frac{kj}{kg})$$

اکنون با داشتن شرایط هوای ورودی به کویل (درجه حرارت خشک ۸۰F و درجه حرارت مرطوب ۶۷F)هوای خروجی از کویل (آنتالپی ۲۴,۱) و رسم منحنی فرآیند فوق روی چارت سایکرومتریک با مقدار درجه حرارت هوای خشک خروجی از کویل ۵۷,۶°F و درجه حرارت مرطوب آن ۵۷,۲ F و رطوبت نسبی آن ۹۳ درصد بدست می‌آید .

مرصوص
گستره عملکرد، انواع فن کوئل، تهویه مطبوع مرکزی ،
کولر آبی، گرمایش از کف
3.5" LCD TOUCH SCREEN
www.marsusgroup.com

ایران جهش
Iran Jahesh
طراحی و ساخت انواع بوستر پمپ‌های آبرسانی آتش نشانی و
آبیاری به صورت کاملاً هوشمند
www.iranjahesh.com