

کویل های هوا خنک و هوا گرم با چرخش اجباری

AHRI Standard 410

بخش 1: هدف

- 1-1-1 - هدف: هدف از این استاندارد تبیین تعاریف، دسته بندی ها، ملزومات آزمایش، ملزومات درجه بندی، حداقل داده های مورد نیاز برای درجه بندی منتشر شده، نماد ها و واحد ها، خصوصیات مرجع و ضرایب تبدیل، اطلاعات پلاک و شرایط متابعت برای کویل های هوا خنک و هواگرم با چرخش اجباری می باشد.
- 1-1-1-1 - قصد: مقصود این استاندارد راهنمایی صنایع شامل تولیدکنندگان، مهندسين، نصابان، پیمانکاران و مصرف کنندگان می باشد.
- 1-1-1-2 - بازنگری و اصلاح: این استاندارد باید با پیشرفت تکنولوژی مورد بازنگری و اصلاح قرار گیرد.

بخش 2: دامنه کاربرد

- 1-2-1 - دامنه کاربرد: این استاندارد به کویل های هوا خنک و هوا گرم با چرخش اجباری همانطور که در بخش 3 تعریف شده و در بخش 4 این استاندارد دسته بندی گردیده است و برای کاربرد تحت شرایط غیر یخ زدگی اعمال می شود.
- این استاندارد روشی اساسی را برای تعیین عملکرد کویل با بسط اطلاعات تست های آزمایشگاهی به سایر شرایط عملکردی و ابعاد کویل و تعداد ردیف های متفاوت، فراهم کرده و مستند می سازد.

بخش 3: تعاریف

تمام اصطلاحات موجود در این مدرک باید از تعاریف استاندارد صنعتی موجود در ویراش جاری واژگان صنعتی ASHRAE گرمایش، تهویه، تهویه مطبوع و تبرید تبعیت کنند مگر مواردی که در این بخش به صورت دیگری تعریف شده باشند.

3-1-1 - خط کویل¹: جهت این استاندارد، یک خط کویل با داشتن موارد زیر با یکدیگر تعریف می گردد:

الف- سیال (مبرد فرار، آب، بخار یا محلول آبی اتیلن گلیکول)

ب- اندازه لوله، فاصله، آرایش (موازی یا یک در میان) یا ساختار درونی.

ج- پیکر بندی فین ها (نه فاصله آن ها).

¹Coil Line

1-1-3- مثال هایی از خط کویل عبارت اند از:

الف- اتیلن گلیکول آبی- اگر شرایط ب و ج از مورد 1-3 ارضا شوند، موارد زیر انواعی هستند که ممکن است بخشی از یک خط باشند:

1- نوع مدار پیوسته

2- نوع خود تخلیه

3- نوع قابل تمیز شدن

ب- توزیع کننده بخار

ج- تک لوله ای بخار

ح- مبرد فرار - کویل انبساط مستقیم با کنترل جریان به وسیله شیر انبساط

خ- آب- اگر شرایط ب و ج مورد 1-3 ارضا شوند، موارد زیر انواعی هستند که ممکن است بخشی از یک خط باشند:

1- نوع مدار پیوسته

2- نوع خود تخلیه

3- نوع قابل تمیز شدن

2-3- ظرفیت سرمایی: ظرفیت وابسته به تغییر در آنتالپی هوا شامل ظرفیت های نهان و محسوس که بر حسب Btu/h بیان می شود.

1-2-3- ظرفیت نهان: ظرفیت مربوط به تغییر در نسبت رطوبت

2-2-3- ظرفیت محسوس: ظرفیت مربوط به تغییر در دمای حباب خشک

3-3- کویل هوای چرخش اجباری- کویلی برای استفاده در جریان هوایی که گردش آن به دلیل وجود اختلاف فشار ناشی از یک فن یا دمنده است، می باشد.

1-3-3- کویل هوا خنک چرخش اجباری- یک مبدل حرارتی با یا بدون سطوح گسترش یافته که در میان آن یا آب سرد، محلول آبی سرد اتیلن گلیکول یا مبرد فرار در جریان است، به منظور سرمایه‌ش کلی (خنک کنندگی محسوس به همراه خنک کنندگی نهان) از یک جریان هوای چرخش اجباری.

Table 1. Range of Standard Rating Conditions						
Item	Cooling Coils			Heating Coils		
	Volatile Refrigerant	Cold Water	Cold Ethylene Glycol Solution	Steam	Hot Water	Hot Ethylene Glycol Solution
Standard air face velocity, std. ft/min [std. m/s]	200 to 800 [1 to 4]	200 to 800 [1 to 4]	200 to 800 [1 to 4]	200 to 1,500 [1 to 8]	200 to 1,500 [1 to 8]	200 to 1,500 [1 to 8]
Entering air dry-bulb temp., °F [°C]	65 to 100 [18 to 38]	65 to 100 [18 to 38]	65 to 100 [18 to 38]	-20 to 100 [-29 to 38]	0.0 to 100 [-18 to 38]	-20 to 100 [-29 to 38]
Entering air wet-bulb temp., °F [°C]	60 to 85 [16 to 29]	60 to 85 [16 to 29]	60 to 85 [16 to 29]	-- --	-- --	-- --
Tube-Side fluid velocity, std. ft/s [std. m/s]	-- --	¹ 1.0 to 8.0 [0.3 to 2.4]	² 1.0 to 6.0 [0.3 to 1.8]	-- --	¹ 0.5 to 8.0 [0.1 to 2.4]	² 0.5 to 6.0 [0.1 to 1.8]
Entering fluid temp., °F [°C]	-- --	35 to 65 [1.7 to 18]	0.0 to 90 [-18 to 32]	-- --	120 to 250 [49 to 121]	0.0 to 200 [-18 to 93]

Table 1. Range of Standard Rating Conditions						
	Cooling Coils			Heating Coils		
	Saturated suction refrigerant temp. at coil outlet, °F [°C]	30 to 55 [-1.1 to 13]	-- --	-- --	-- --	-- --
Minimum suction vapor superheat at coil outlet, °F [°C]	6.0 [3.3]	-- --	-- --	-- --	-- --	-- --
Steam pressure at coil inlet, psig [kPa gage]	-- --	-- --	-- --	2.0 to 250.0 [14 to 1723]	-- --	-- --
Maximum superheat in steam at coil inlet, °F [°C]	-- --	-- --	-- --	50 [28]	-- --	-- --
Concentration by mass, %	--	--	10 to 60	--	--	10 to 60
Minimum fin surface temperature, °F [°C]	> 32 [> 0.0]	> 32 [> 0.0]	> 32 [> 0.0]	> 32 [> 0.0]	> 32 [> 0.0]	> 32 [> 0.0]
Minimum tube wall surface temperature, °F [°C]	> 32 [> 0.0]	> 32 [> 0.0]	> ethylene glycol sol. freeze point	> 32 [> 0.0]	> 32 [> 0.0]	> ethylene glycol sol. freeze point
¹ On lower limit, Re shall exceed 3100 at t_{wm} . Predicted performance and actual performance in the water velocity range below the tube-side fluid velocity listed above is expected to show variations in excess of currently accepted tolerances for the following reasons: <ol style="list-style-type: none"> 1) Application of coils at low velocity can lead to excessive fouling. 2) Application of coils at low velocity can lead to possible air entrapment. 3) Differences in coil design/type affect the variation in low Re heat transfer coefficient. 						
² On lower limit, Re shall exceed 700 at t_{gm} .						
Note: Numbers in [] are in SI Units						

3-3-2- کویل هواگرم چرخش اجباری- یک مبدل حرارتی با یا بدون سطوح گسترش یافته که در میان آن آب گرم، محلول آبی گرم اتیلن گلیکول یا بخار به منظور گرمایش محسوس یک جریان هوای چرخش اجباری، در جریان است.

3-4- ظرفیت گرمایشی: ظرفیت مربوط به تغییر دمای حباب خشک که بر حسب $(W) Btu/h$ بیان می شود.

3-5- تست های آزمایشگاهی- تست های انجام شده به وسیله تولید کننده روی نمونه کویل ها برای تعیین خصوصیات پایه ی انتقال حرارت و افت فشار که باید برای توسعه درجه بندی های منتشر شده مورد استفاده قرار گیرند.

3-6- درجه بندی های منتشر شده- جمع آوری مقادیر تخصیص داده شده به خصوصیات عملکردی تحت شرایط درجه بندی بیان شده، که به وسیله آن یک کویل می تواند متناسب کاربرد آن انتخاب شود را می گویند. این مقادیر به تمامی کویل های با اندازه اسمی و نوع (مشخصات) مشابه که توسط یک سازنده تولید شده اند، اعمال می گردند.

همانطور که در اینجا استفاده شده است، عبارت درجه بندی های منتشر شده شامل درجه بندی های تمامی خصوصیات عملکردی انتشار یافته در مشخصات، تبلیغات یا مدارک دیگر که توسط یک تولید کننده کنترل شده یا از طریق یک روند کامپیوتری خودکار درجه بندی/انتخاب قابل دسترسی باشند، می باشد.

3-6-1 درجه بندی کاربرد: درجه بندی های تعیین شده در شرایطی خارج از محدوده شرایط درجه بندی استاندارد.

3-6-2 درجه بندی های استاندارد: درجه بندی های درون محدوده شرایط درجه بندی استاندارد (جدول 1) که بیانی دقیق از داده های تست هستند.

3-7 باید یا بهتر است. این واژه ها به صورت زیر تعبیر می شوند:

3-7-1 باید: جایی که باید یا نباید برای یک ارایه ی مشخص استفاده می شود در صورت ادعای مطابقت با استاندارد این ارایه اجباری است.

3-7-2 بهتر است. این کلمه برای نشان دادن ارایه هایی که اجباری نیستند ولی به عنوان یک تمرین مطلوب محسوب می شوند استفاده می شود.

3-8 هوای استاندارد: هوا با چگالی $0.075lb/ft^3$ (1/2 کیلوگرم بر متر مکعب) که می توان آن را با هوای خشک در 70 درجه فارنهایت (21 درجه سلسیوس) و فشار بارومتري $29.92inHg$ (101/3 کیلو پاسکال) تقریب زد.

3-9 جهت استاندارد کویل: در موقعیت استاندارد کویل، لوله ها افقی و صفحه کویل عمودی با جریان هوای افقی هستند.

3-10 مجموعه تست ها: مجموعه ای از تست های مربوطه انجام شده روی یک کویل تست.

3-11 همزن¹: وسایل مکانیکی درون لوله که برای افزایش اغتشاش سیال به کار می روند.

بخش 4: دسته بندی

4-1 ابعاد سطح کویل، واژگان فنی و محاسبات سطح

4-1-1 آرایش لوله ها و انواع آرایش فین

4-1-1-1 لوله های یک در میان² با:

¹Turbulator

²Staggered

الف- فین های صفحه ای تخت پیوسته

ب- فین های صفحه ای شکل داده شده پیوسته

ج- فین های مارپیچی چین دار

د-فین های مارپیچی صاف

ح- فین های صفحه ای تخت روی لوله های فین دار

ج- فین های صفحه ای شکل داده شده روی لوله های فین دار

2-1-1-4 - لوله های موازی (هم خط) با:

الف- فین های صفحه ای تخت پیوسته

ب- فین های صفحه ای شکل داده شده پیوسته

ج- فین های مارپیچی چین دار

د-فین های مارپیچی صاف

ح- فین های صفحه ای تخت روی لوله های فین دار

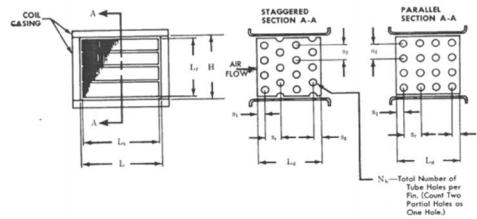
ج- فین های صفحه ای شکل داده شده روی لوله های فین دار

2-1-1-4 - ابعاد، واژگان فنی و محاسبه راندمان فین (توجه داشته باشید که معادلات در [] بر واحد SI هستند).

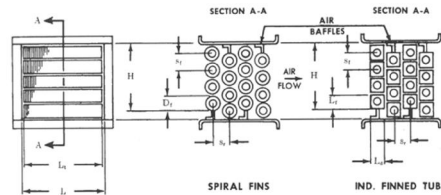
در شکل های نشان داده شده در 4-1-2-1، 4-1-2-2 و 4-1-2-3، وقتی که فلنج های کانال به سمت داخل یا خارج پیچانده شوند، H به صورت مشخص شده تعریف می گردد. جایی که یک انتخاب در اندازه گیری هر بعد پیشنهاد می گردد، اساس مشابهی برای تعیین داده های درجه بندی همانطور که در ارزیابی داده های تست مورد استفاده قرار گرفته است، باید به کار برده شود.

ابعاد Ld و Lf برای فین های شکل داده شده از اندازه ورق فین خام قبل از شکل دهی به طوری که هیچ ترمیم لبه ای پس از شکل دهی یا از اندازه فین تمام شده پس از شکل دهی صورت نگیرد، به انتخاب تولید کننده تعیین می شود.

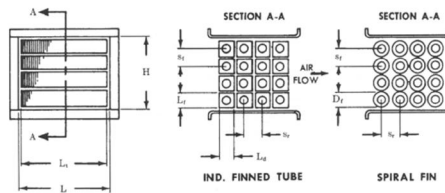
1-2-1-4 - لوله های یک در میان و لوله های موازی (همانطور که در شکل زیر نشان داده شده است) با فین های صفحه ای تخت پیوسته یا فین های صفحه ای شکل داده شده.



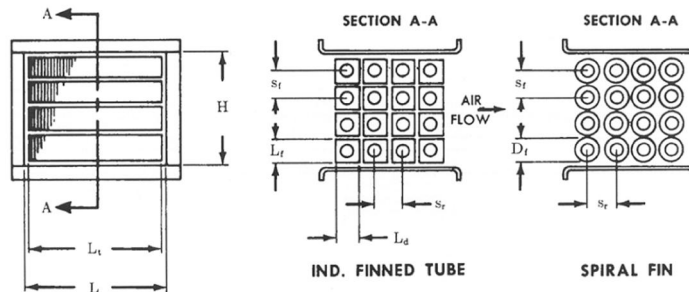
4-1-2-2- لوله های یک در میان (همانطور که در زیر نشان داده شده است) با فین های مارپیچی صاف یا چین دار یا با فین های ورقه ای صاف یا فین های ورقه ای شکل داده شده روی لوله های فین دار. بافل های هوای نشان داده شده به صورت اختیاری در نظر گرفته می شوند و H می تواند فاصله بین کانال های نشان داده شده در شکل 4-1-2-1 باشد.



4.1.2.3 Parallel (in-line) tubes (as shown below) with flat plate or configured plate fin on individually-finned tube or with smooth or crimped spiral fins.

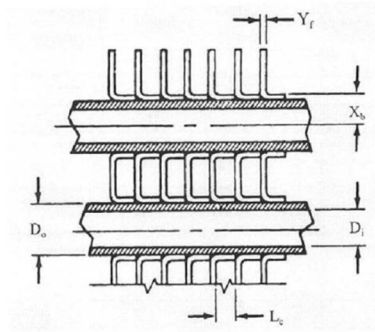


4-1-2-3- لوله های موازی (همانطور که در زیر نشان داده شده است) با فین صفحه ای تخت یا شکل داده شده روی لوله های فین دار یا با فین های مارپیچی چین دار یا صاف.



4-1-2-4- مونتاژهای فین-لوله

الف- فین های صفحه ای با یقه های در تماس با فین مجاور



محاسبات راندمان فین:

برای فین صفحه ای پیوسته

$$x_e = \left(\frac{L_f L_d}{\pi N_f} \right)^{0.5}$$

برای لوله های فین دار

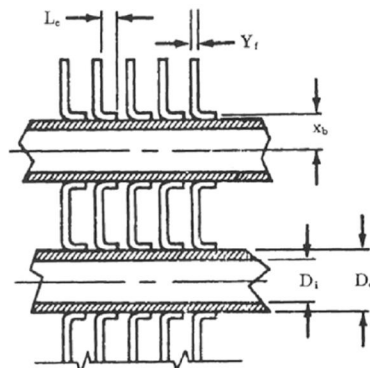
$$x_e = \left(\frac{L_f L_d}{\pi} \right)^{0.5}$$

$$x_b = \frac{D_o + 2Y_f}{2}$$

$$W = x_e - x_b$$

از منحنی $\left[\frac{f_c}{6k_r Y_f} \right]^{0.5}$ و $\left[\frac{2f_f}{k_r Y_f} \right]^{0.5}$ برای مقادیر مختلف x_e/x_b ، ϕ تعیین می گردد (شکل 10).

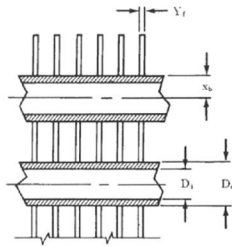
ب- فین های صفحه ای با یقه هایی که با فین مجاور در تماس نیستند..



محاسبات راندمان فین دقیقا مشابه با فین ورقه ای با یقه در تماس با فین مجاور است به جز مورد زیر:

$$x_b = \frac{D_o + Y_f}{2}$$

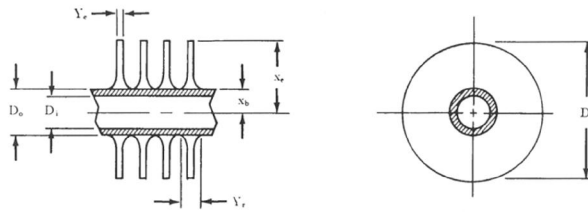
ج- فین صفحه ای بدون یقه



محاسبات راندمان فین دقیقاً مشابه با فین صفحه ای با یقه در تماس با فین مجاور است به جز مورد زیر:

$$x_b = \frac{D_o}{2}$$

د- فین های مارپیچی صاف



محاسبات راندمان فین:

$$x_e = \frac{D_f}{2}$$

$$x_b = \frac{D_o}{2}$$

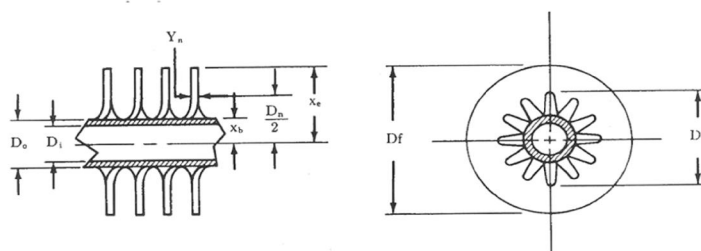
$$w = x_e - x_b$$

از منحنی $w \left(\frac{f_a}{6k_f Y_f} \right)^{0.5} \left[w \left(\frac{2f_a}{k_f Y_f} \right)^{0.5} \right]$ برای مقادیر مختلف x_e/x_b ، تعیین می گردد (شکل 11).

ح- فین های مارپیچی چین دار

محاسبات راندمان فین دقیقاً مشابه با فین های مارپیچی صاف است به جز:

$$Y_f = \frac{Y_n D_n}{D_o}$$



3-1-4- معادلات برای تعیین مساحت کویل و نسبت سطحی (توجه داشته باشید که معادلات در [] بر حسب SI هستند).

3-1-4- تعیین A_p و A_s

الف: فین های صفحه ای پیوسته برای آرایش لوله یک در میان و موازی

$$A_s = N_f \left(\frac{L_f L_d}{72} - \frac{N_h (D_o + 2Y_f)^2}{91.68} + \frac{(D_o + 2Y_f)(N_h - N_f)L_c}{45.84} \right)$$

$$= \left[N_f \left(\frac{L_f L_d}{500000} - \frac{N_h (D_o + 2Y_f)^2}{636688} + \frac{(D_o + 2Y_f)(N_h - N_f)L_c}{318344} \right) \right]$$

$$A_p = \frac{N_f D_o L_t - N_f N_f Y_f (D_o - 2L_c)}{45.84}$$

$$= \left[\frac{N_f D_o L_t - N_f N_f Y_f (D_o - 2L_c)}{318344} \right]$$

ب: فین های مارپیچی صاف

$$A_s = \frac{N_f N_t}{91.68} (D_f^2 - D_o^2 + 2D_f Y_e) = \left[\frac{N_f N_t}{636688} (D_f^2 - D_o^2 + 2D_f Y_e) \right]$$

$$A_p = \frac{D_o N_t}{45.84} (L_t - N_f Y_r) = \left[\frac{D_o N_t}{318344} (L_t - N_f Y_r) \right]$$

ج- فین های مارپیچی چین دار

$$A_s = \frac{N_f N_t}{45.84} \left(D_n (D_n - D_o) + \frac{D_f^2 - D_n^2}{2} + D_f Y_c \right) = \left[\frac{N_f N_t}{318344} \left(D_n (D_n - D_o) + \frac{D_f^2 - D_n^2}{2} + D_f Y_c \right) \right]$$

$$A_p = \frac{D_o N_t}{45.84} (L_t - N_f Y_r) = \left[\frac{D_o N_t}{318344} (L_t - N_f Y_r) \right]$$

د- فین های صفحه ای روی لوله های فین دار

$$A_s = N_f N_f \left(\frac{L_f L_d}{72} - \frac{(D_o + 2Y_f)^2}{91.68} + \frac{(L_f + L_d)Y_f}{72} \right) = \left[N_f N_f \left(\frac{L_f L_d}{500000} - \frac{(D_o + 2Y_f)^2}{636688} + \frac{(L_f + L_d)Y_f}{500000} \right) \right]$$

$$A_p = \frac{(D_o + 2Y_f)N_t}{45.84} (L_t - N_f Y_r) = \left[\frac{(D_o + 2Y_f)N_t}{318344} (L_t - N_f Y_r) \right]$$

4-1-3-2- تعیین $A_f, A_o, A_{iv}, B, A_{ix}, N_p, N_b$ and L_e (برای تمامی موارد).

$$A_f = \frac{HL}{144} = \left[\frac{HL}{1000000} \right]$$

$$A_o = A_s + A_p$$

$$A = \frac{D_i N_t L_t}{45.84} = \left[\frac{D_i N_t L_t}{318344} \right]$$

$$B = A_o / A$$

$$A_{ix} = 0.00545 D_i^2 N_c = [7.85 \times 10^{-7} D_i^2 N_c]$$

$$N_p = N_t / N_c$$

$$N_b = N_p - N_{ih} - 1$$

$$L_e = 0.833(L_s N_p + L_{cb} N_b)$$

$$= [0.001(L_s N_p + L_{cb} N_b)]$$

Table 2. Required Laboratory Tests				
Type of Coil	One Row	Two Rows		Three Rows or More
		In-Line Tubes, Flat Plate Fins	All Other Configurations	
Steam (Distributing tube)	Test	Test	No Test ¹	No Test ¹
Steam (Single tube)	No Test ²	No Test ²	No Test ²	No Test ²
Hot Water	No Test ³	No Test ⁴	No Test ³	No Test ³
All Cooling	Test ⁵	Test	Test ⁵	Test four-row, or five-row, or six-row coil
Aqueous Ethylene Glycol Solution	Test same coil as used for sensible cooling tests			

Where "No Test" is indicated, the manufacturer may, at his option, perform tests to establish performance factors, in which case notes 1-4 below do not apply:

- ¹ Steam ratings may be calculated using data from one-row tests.
- ² The same steam ratings may be used as determined for steam distributing tube coil of same surface geometry.
- ³ The overall thermal resistance, R , may be determined by either of the following procedures:
 - (a) R_{oD} is determined from steam coil tests, assuming a steam-side heat transfer coefficient, f_s , of 2000 Btu/(h-ft²-°F) [11360 W/(m²-°C)]. One-row steam coil tests shall be used to determine R_{oD} for one-row hot water coils. One-row or two-row steam coil tests may be used to determine R_{oD} for two-row hot water coils.
 - (b) R_{oD} is determined from sensible cooling tests. One-row sensible cooling tests shall be used to determine R_{oD} for one-row hot water coils. One-row or two-row sensible cooling tests may be used to determine R_{oD} for two- or more-row hot water coils.
 - (c) For either (a) or (b) above, it is necessary to conduct isothermal water pressure drop tests per 5.4.7.
- ⁴ The air-side thermal resistance, R_{oD} , may be determined as in ³ except that two-row coils shall be used.
- ⁵ A complete set of tests is not required, provided the air-side heat transfer coefficients, f_a , as determined from a sensible cooling water test series, are within 2.5% of those from four- or more-row tests. If this agreement exists for a one-row coil, no test is required for a two-row coil.

بخش 5: ملزومات تست

5-1- روش برای تست های آزمایشگاهی بررسی برای درجه بندی: کویل های هوا گرم و هواخنک چرخش اجباری باید مطابق با استاندارد ANSI/ASHRAE 33 مورد تست قرار گیرند.

5-2- کویل های تست و تست های آزمایشگاهی

5-2-1- ملزومات ابعادی- تمامی تست های آزمایشگاهی کویل های سرمایشی و گرمایشی باید با یک کویل نمونه با مساحت 2 تا 10 فوت مربع (0/19 تا 0/93 متر مربع) انجام گیرد.

5-2-2- تست های آزمایشگاهی مورد نیاز- جدول 2 را ببینید.

5-2-3- همزن ها- اگر همزن ها به عنوان انتخابی برای افزایش ضریب انتقال حرارت سیال درون لوله های کویل پیشنهاد گردند، فقط نیاز است یک کویل برای برقرار کردن ارتباط بین ضرایب انتقال حرارت سمت لوله، با یا بدون همزن مورد تست قرار گیرد.

5-2-4- فاصله فین ها- ضرایب انتقال حرارت لایه هوا و افت فشارهای سمت هوا برای فاصله های فین متفاوت ممکن است بدون تست تعیین شود مشروط بر اینکه فاصله درون یابی شده فین بین دو فاصله ای باشد که قبلا مورد تست قرار گرفته است و بیشتر از 8 fins/in (315 fins/m) از هم فاصله نداشته باشند.

5-2-5- تغییرات انتخابی از کویل آزمایش

5-2-5-1- تغییراتی که به تست احتیاج ندارند: پس از مشخص کردن درجه بندی های استاندارد اصلی، یک یا بیشتر از یکی از تغییرات زیر می تواند به عنوان یک انتخاب در یک خط کویل بدون تغییر در درجه بندی منتشر شده انجام شده یا پیشنهاد گردد، مشروط بر اینکه اثر محاسبه شده هر کدام یا تمامی این تغییرات ظرفیت را به کمتر از 97/5 درصد درجه بندی های استاندارد مربوطه کاهش ندهد.

الف- ضخامت فین مسی می تواند تا 30 درصد کمتر از ضخامت فین آلومینیومی کاهش یابد.

ب- افزایش ضخامت فین

ج- ضخامت دیواره لوله بین 0/016 و 0/049 اینچ (0/406 و 1/254 میلی متر)

د- جنس لوله، محدود به انواعی که به طور طبیعی در تهویه مطبوع قرار می گیرند مانند مس، برنج قرمز^۱، برنج آلیاژی^۲، آلومینیوم و آلیاژ مس- نیکل^۳.

اگر ظرفیت محاسبه شده کمتر از 97/5 درصد باشد، درجه بندی های جدیدی باید محاسبه شده و برای تایید به AHRI ارسال شود.

2-5-2-5-2 - تغییراتی که به تست ها نیاز دارند: پس از مشخص شدن درجه بندی استاندارد اصلی، یک یا بیشتر از یکی از تغییرات زیر می تواند به عنوان یک انتخاب در یک یا بیشتر از یک خط کوپل با هندسه سطحی مشابه، انجام شده یا پیشنهاد گردد، مشروط به اینکه یک مجموعه تست گرمایش و سرمایش محسوس با چهار سرعت سطحی انجام گردیده و ظرفیت تست کمتر 97/5 درصد از درجه بندی های استاندارد مربوطه نباشد:

الف- جنس فین به غیر از مس

ب- روش های اتصال

ج- ضخامت دیواره لوله خارج از محدوده 1-5-2-5 ج

د- جنس لوله به غیر از مواد 1-5-2-5 د

ح- کاهش ضخامت فین

اگر ظرفیت تست کمتر از 97/5 درصد از درجه بندی های استاندارد باشد یا تغییرات دیگر از قبیل قطر خارجی لوله، فاصله لوله ها، شکل فین یا آرایش لوله صورت پذیرد، مجموعه ای کامل از تست های آزمایشگاهی باید انجام گرفته و مطابق با آن درجه بندی های منتشر شده باید تغییر کند. اگر افت فشارها بیشتر از 105 درصد از درجه بندی های استاندارد باشد، مجموعه ای از تست های افت فشار باید انجام شده و درجه بندی ها باید مطابق با آن منتشر گردد.

6-5-2-6 -مبرد: تست های آزمایشگاهی جداگانه ای باید برای هر مبردی که به وسیله درجه بندی های کوپل مبرد فرار پوشش داده می شود، صورت پذیرد.

7-5-2-7 - کوپل های محلول آبی اتیلن گلیکول: این کوپل ها باید تست های آزمایشگاهی مجزایی داشته باشند. درجه بندی های محلول آبی اتیلن گلیکول نباید برای سایر سیال ها اعمال گردند.

¹ red brass از مس و روی

² admiralty metal

³ cupro-nickel

8-2-5- جهات کویل به غیر از استاندارد: اطلاعات باید برای تعیین خنک کنندگی و رطوبت زدایی درجه بندی های کاربرد کویل برای جهت های کویل به غیر از جهت استاندارد (9-3 را ببینید) در دسترس باشند. هر درجه بندی مانند این باید به وسیله تست های آزمایشگاهی اضافی کافی مورد اثبات قرار گیرد.

متغیرهای درجه بندی انتقال حرارت که باید به وسیله تست های آزمایشگاهی تعیین گردند.

1-3-5- محدوده متغیرهای انتقال حرارت: محدوده متغیرهای انتقال حرارت که روی آن محدوده درجه بندی ها می توانند اعمال شوند، باید به طور جدی به محدوده ای شامل تست های آزمایشگاهی محدود گردد؛ به جز موارد زیر باقی مقادیر نباید خارج از محدوده پوشش داده شده به وسیله تست های آزمایشگاهی برون یابی گردند:

الف- اختلاف دمای سیال سمت هوا به لوله ابتدایی برای تمامی کویل ها.

ب- فشار بخار ورودی برای کویل های بخار

ج- سرعت سیال برای کویل های آبی و محلول آبی اتیلن گلیکول

د- دماهای سیال برای کویل های آبی و محلول آبی اتیلن گلیکول

ح- غلظت سیال برای کویل های محلول آبی اتیلن گلیکول

2-3-5- متغیرهای انتقال حرارت برای کاربردهای مختلف کویل پوشش داده شده به وسیله این استاندارد، که تاثیر آن ها روی عملکرد حرارتی با اجرای تست های آزمایشگاهی باید ارزیابی گردد، در 4-5 توصیف گردیده اند.

4-5- حداقل ملزومات تست های آزمایشگاهی

1-4-5- حیطة کلی

1-1-4-5- سرعت هوا- تمامی مجموعه تست های زیر برای کاربردهای مشخص کویل، به جز موارد 2-2-3-4-5، 3-6-5 و 7-4-5، باید با حداقل چهار سرعت در سطح مقطع هوای استاندارد مختلف انجام گردند به طوری که محدوده درجه بندی کامل سرعت هوا را در جزء های سرعتی با فاصله تقریباً یکسان در یک مقیاس لگاریتمی را مورد پوشش قرار دهد.

2-1-4-5- سرعت سیال- برای هر تست با کویل های آبی به جز 2-2-3-4-5 و 7-4-5 بهتر است یک سرعت سیال خاص در محدوده ای از 3 تا 6 ft/s (از 0/9 تا 1/8 متر بر ثانیه) مورد استفاده قرار گیرد.

3-1-4-5- افت فشار سمت هوا- افت فشار سمت هوای کویل برای تمامی تست های سطح خشک و مرطوب باید مطابق با استاندارد 33 ANSI/ASHRAE ثبت گردد.

5-4-2 - کویل های گرمایشی بخار - هدف از این مجموعه تست ها تعیین تغییر در مقاومت انتقال حرارت کلی R با سرعت هوای استاندارد V_a و تعیین افت فشار بخار در کویل می باشد.

5-4-2-1 - فشار بخار - برای هر تست فشار بخار ورودی باید 2 تا 10 $psig$ (14 تا 69 kPa gage) با بخار مافوق گرم ورودی مشخص شده در استاندارد ANSI/ASHRAE 33 باشد.

5-4-3 - کویل های سرمایش محسوس آبی یا محلول آبی اتیلن گلیکول - برای اطمینان کامل از خشکی سطح سمت هوا، دمای سیال ورودی t_{wl} یا t_{gl} برای تمامی تست ها باید برابر یا بزرگتر از دمای نقطه شبنم هوای ورودی t_{dp} باشد.

5-4-3-1 - کویل آبی با دیواره های لوله داخلی صاف - برای طراحی های کویل با دیواره های لوله داخلی صاف، ضریب انتقال حرارت لایه آب f_w در ابتدا مشخص است و باید از معادله منحنی (8) نشان داده شده در شکل 17 محاسبه گردد. فقط یک مجموعه تست به منظور تعیین تغییرات در ضریب انتقال حرارت لایه هوای سطح خشک f_a با سرعت صفحه هوای استاندارد V_a مورد نیاز است (5-4-1-1 و 5-4-1-2 را ببینید).

5-4-3-2 - کویل های آبی با طراحی های لوله به غیر از دیواره لوله داخلی صاف - برای کویل ها با استفاده از طراحی لوله با فین داخلی، همزن ها و غیره هم ضریب انتقال حرارت لایه هوا و هم ضریب انتقال حرارت لایه آب به عنوان تابعی از نرخ جریان جرمی سیال مربوطه، مشخص می باشند. دو مجموعه تست برای طراحی این نوع کویل مورد نیاز است:

5-4-3-2-1 - مجموعه تست شماره 1 - یک مجموعه تست همانطور که در 5-4-3-1 توصیف شده است در ابتدا باید روی سطح انتقال حرارتی که طراحی و آرایش آن از تمامی جنبه ها مشابه طراحی ارزیابی شده است، صورت پذیرد. به جز موردی که دیواره های لوله داخلی صاف استفاده شده باشد.

5-4-3-2-2 - مجموعه تست شماره 2 - یک مجموعه تست روی سطح انتقال حرارتی که طراحی و آرایش آن مشابه طراحی ارزیابی شده بوده و شامل هندسه نوع لوله داخلی است، باید صورت پذیرد.

حداقل چهار تست با سرعت های آب متفاوت برای پوشش کامل محدوده درجه بندی سرعت آب در جزء های با فاصله تقریباً مساوی در مقیاس لگاریتمی مورد نیاز است. برای هر تست سرعت صفحه هوای استاندارد ممکن است در محدوده 200 تا 800 $std. ft/min$ (1 تا 4 $std. m/s$) باشد. استفاده از سرعت های صفحه هوای استاندارد بالا و فواصل فین نزدیک به دلایل دقت توصیه می شود.

برای این مجموعه تست ها، با دانستن ضریب انتقال حرارت لایه هوا، f_a که با استفاده از 5-4-3-2-1 تعیین شده است، ضریب انتقال حرارت لایه آب f_w می تواند به عنوان تابعی از سرعت و دمای آب محاسبه گردد.

سپس مقادیر fW محاسبه شده باید برای تجزیه و تحلیل تست های آزمایشگاهی و برای اهداف درجه بندی به جای عملکرد آب برای کویل های لوله ای صاف شکل 17 مورد استفاده قرار گیرد.

3-3-4-5- کویل محلول آبی اتیلن گلیکول با دیواره لوله داخلی صاف- دو مجموعه تست باید انجام گیرد:

1-3-3-4-5- مجموعه تست شماره 1- یک مجموعه تست با آب، همانطور که در 1-3-4-5 توصیف شده است، در ابتدا باید روی سطح انتقال حرارت که طراحی و آرایش آن از تمامی جنبه ها مشابه طراحی ارزیابی شده است، صورت پذیرد.

2-3-3-4-5- مجموعه تست شماره 2- کویل مشابه با مجموعه تست شماره 1 به جز این مورد که سیال سمت لوله باید محلول آبی اتیلن گلیکول با درصد جرمی $50\% \pm 5\%$ باشد، در دمایی بین 45 درجه فارنهایت (7/2 درجه سلسیوس) و 100 درجه فارنهایت (37/8 درجه سلسیوس) می بایست تست شود. حداقل یازده تست برای تعریف صحیح ضریب کولبرن z بر حسب منحنی رینولدز نشان داده شده در شکل 16 مورد نیاز است. چهار نقطه تست باید دارای رینولدز زیر 2100، سه نقطه تست بین رینولدز 2100 تا 7000 و چهار نقطه تست بالاتر از رینولدز 7000 باشند. تمامی تست ها باید در یک سرعت صفحه هوای استاندارد بین 200 تا 800 $std. ft/min$ (1 تا 4 $std. m/s$) انجام شوند. استفاده از سرعت های صفحه هوای بالا و فواصل فین نزدیک به دلایل دقت توصیه می شود.

برای این مجموعه تست ها با ضریب انتقال حرارت سمت هوای fa تعیین شده با استفاده از 1-3-3-4-5، ضریب انتقال حرارت لایه محلول آبی اتیلن گلیکول fg را می توان تعیین کرد. با استفاده از مشخصات سیال توصیف شده در *ASHRAE Handbook-Fundamentals*، ضریب کولبرن z و عدد رینولدز می تواند همانطور که در شکل 16 نشان داده شده است، محاسبه و ترسیم گردد. منحنی (های) تعریف شده به وسیله نقاط تست باید برای درجه بندی سمت لوله کویل های محلول آبی اتیلن گلیکول مورد استفاده قرار گیرند.

موارد بالا باید با استفاده از یک کویل مبنا با نسبت Ls/Di بین 70 تا 90 انجام گیرد. همانطور که در شکل 16 نشان داده شده است، درجه بندی ها برای محدوده عدد رینولدز بین 700 تا 7000 باید بر اساس نسبت Ls/Di به توان منفی 0/4 در ناحیه جریان آرام باشد.

کویل دوم می تواند در طول متفاوت با حداقل چهار نقطه تست در رینولدز زیر 2100 و سه نقطه تست بین 2100 و 7000 مورد تست قرار گیرد. توان Ls/Di (جریان آرام تعیین شده می تواند برای اهداف درجه بندی مورد استفاده قرار گیرد. سه نقطه باقیمانده برای تعریف واضح تر ناحیه گذار مورد استفاده قرار می گیرند.

خواص محلول آبی خالص اتیلن گلیکول بیانگر استانداردترین محلول اتیلن گلیکول آبی صنعتی است اما به محلول های ضد یخ رادیاتور خودرو اعمال نمی گردد.

4-5-3-4 - کویل های محلول اتلین گلیکول با طراحی های لوله به غیر از دیواره های لوله داخلی صاف - دو مجموعه تست باید انجام گیرد.

4-5-3-4-1 - مجموعه تست شماره 1 - تست ها را با آب مشابه با 1-3-3-4-5 انجام دهید.

4-5-3-4-2 - مجموعه تست شماره 2 - مشابه با 2-3-3-4-5 عمل کرده به جز آن که لوله های کویل باید شامل فین های داخلی، همزن و غیره باشند. هنگامی که قطع کننده های لایه های مرزی مثبت (از قبیل همزن های سیمی با فاصله نزدیک یا تیغه های داخلی در زاویه راست محور جریان و غیره) مورد استفاده قرار گیرند، مقدار Ls/Di روی ضریب انتقال حرارت تاثیر گذار نمی باشد و فقط تست های کویل مبنا مورد نیاز است.

5-4-4 - کویل های گرمایشی آب گرم یا محلول اتلین گلیکول آبی - تست ها روی کویل های گرمایشی آب گرم یا محلول اتلین گلیکول آبی مورد نیاز نمی باشد (2-2-5 را ببینید). اگر تست هر کدام از آن ها مورد نیاز باشد، دمای سیال ورودی t_{wl} یا t_{gl} باید 180 درجه فارنهایت (82 درجه سلسیوس) یا بالاتر و دمای حباب خشک هوای ورودی t_{ldb} نباید بیشتر از 100 درجه فارنهایت (37/8 درجه سلسیوس) باشد.

هدف و تست های حداقل برای لوله های داخلی صاف و طراحی های دیگر لوله به ترتیب مشابه 1-3-4-5 و 2-3-4-5 خواهد بود.

5-4-5 - کویل های سرمایشی آب سرد و کویل های رطوبت زدایی - دو مجموعه تست باید انجام پذیرد:

5-4-5-1 - تست های گرمایی محسوس سطح خشک - هدف و تست های حداقل برای لوله های صاف و سایر طراحی های دیگر لوله به ترتیب مشابه 1-3-4-5 و 2-3-4-5 می باشد.

5-4-5-2 - تست های سطحی مرطوب (رطوبت زدایی) - تست کویل مشابه با آنچه در 1-5-4-5 صورت پذیرفته در اینجا مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

5-4-5-2-1 - هدف - هدف از انجام این مجموعه تست ها مشخص کردن آن است که آیا تنظیمات مورد نیاز در ضریب انتقال حرارت لایه هوا fa همانطور که در تست های سطوح خشک در 1-5-4-5 تعیین شده است، تحت شرایط کارکرد سطح مرطوب نیز مورد نیاز می باشد. این تنظیمات بسته به طراحی خاص یا آرایش سطح انتقال حرارت، ممکن است مورد نیاز باشند یا نباشند. همچنین افت فشار سمت هوای سطح مرطوب به وسیله این مجموعه تست ها تعیین خواهد شد.

5-4-5-2-2 - شرایط سطح - برای تعیین ضریب انتقال حرارت لایه هوا fa و افت فشار سمت هوا تحت شرایط سطح مرطوب کامل، تمامی تست ها باید با تمامی رطوبت چگالش فعال سطح سمت هوا صورت پذیرند. این شرایط کارکرد زمانی وجود دارد که دمای سطحی سمت هوا، در تمامی موقعیت های سراسر کویل، کمتر از دمای نقطه شبنم هوای ورودی باشد.

3-2-5-4-5 بازه متغیرها- برای هر تست، بازه هر کدام از متغیرهای طراحی زیر باید در محدوده های لیست شده در زیر باشد:

twl دمای آب ورودی: 35 تا 55 درجه سانتی گراد (1/7 تا 12/8 درجه سلسیوس)

$tldb - t1wb$: کاهش دمای تر ورودی بزرگتر مساوی 6 درجه فارنهایت (3/3 درجه سلسیوس)

qs / qt : نسبت حرارت محسوس هوا کوچکتر مساوی 0/75

$$t2wb - twl \geq 5.0 F [2.8^{\circ}C]$$

6-4-5 کویل های رطوبت زدایی و سرمایشی با مبرد فرار- یک مجموعه تست های کامل بیان شده در زیر، باید با هر نوع مبرد فرار که برای آن تست مورد نیاز است، انجام پذیرد (شکل 6-2-5 را ببینید). سه مجموعه تست باید روی کویل یا کویل های نمونه انجام پذیرد:

1-6-4-5 تست های سطح خشک- با استفاده از آب سرد اولین مجموعه از تست ها باید همانطور که تحت 1-5-4-5 مطرح شده است انجام پذیرد. اگر تست ها قبلا تحت 1-5-4-5 قبلا کامل شده باشد، ممکن است این ملزومات حذف گردد.

2-6-5-4 تست سطح مرطوب- با استفاده از آب سرد، مجموعه ثانویه از تست ها باید همانطور که تحت 2-5-4-5 مطرح شده است انجام پذیرد. اگر تست ها قبلا تحت 2-5-4-5 قبلا کامل شده باشد ممکن است این ملزومات حذف گردد.

3-6-4-5 تست های مبرد فرار- با استفاده مبرد فرار، مجموعه سوم تست ها باید حداقل با دو طول مختلف مدار سرمایش برای کویل داده شده انجام گیرد:

الف- یک مدار که طول معادل ماکزیمم استفاده شده در خط کویل های ارزیابی شده را به خوبی تقریب بزند.

ب- مداری که طول آن بزرگتر از یک سوم طول معادل ماکزیمم استفاده شده در خط کویل های ارزیابی شده نمی باشد. برای هر کدام از طول های مدار مبرد، حداقل چهار تست مورد نیاز است. این تست ها محدوده کامل بارگذاری مبرد در مدار در فواصل تقریبا مساوی ظرفیت در مقیاس لگاریتمی را پوشش می دهد و با یک دمای سیال ثابت در محدوده 108 تا 112 درجه فارنهایت (42/2 تا 44/4 درجه سلسیوس) که به دستگاه کنترل وارد می شود و دمای مبرد خروجی کویل اشباع تا 55 درجه فارنهایت (12/8 درجه سلسیوس) ، انجام می پذیرد.

4-6-4-5 - ارزیابی - هشت تست بالا باید برای ارزیابی تاثیرات بارگذاری مبرد در مدار روی افت فشار مبرد اشباع مدار کویل و هم ضریب انتقال حرارت لایه تبخیر شونده مبرد، مورد استفاده قرار گیرند.

5-4-6-5 - توصیه های کلی. برای هر تست، سرعت صفحه هوای استاندارد Va می تواند در بازه 200 تا 800 $std. ft/min$ (1 تا 4 m/s) باشد. به منظور ساده سازی روند کاهش داده ها، سطح باید کاملاً خشک یا کاملاً مرطوب باشد.

5-4-6-6 - مافوق گرم کردن خروجی - بخار مافوق گرم خروجی مبرد، برای هر تست، باید مطابق با استاندارد 33 *ANSI/ASHRAE* حفظ گردد.

5-4-7 - افت فشار هم دمای آب برای تمامی کویل های آبی - برای هر کویل آبی تست شده، افت فشار آب درون کویل باید تحت شرایط کارکرد هم دما تعیین گردد. تست ها باید با حداقل چهار سرعت آب مختلف مشخص شده در 2-2-3-4-5 صورت پذیرد.

5-4-8 - افت فشار هم دما برای کویل های محلول اتیلن گلیکول - برای هر کویل اتیلن گلیکول تست شده، افت فشار در کویل باید تحت شرایط کارکرد هم دما تعیین گردد. حداقل چهار تست در رینولدز زیر 1000 و حداقل چهار تست در رینولدز بالای 4000 باید انجام پذیرد. برای تکمیل منحنی افت فشار، دو منحنی داده نتیجه شده باید برای پیدا کردن تداخل رینولدز 1000 تا 4000 برون یابی گردد. برای تکمیل منحنی افت فشار تست های اضافی می تواند در محدوده رینولدز 1000 تا 4000 انجام پذیرد.

بخش 6- ملزومات درجه بندی

1-6-1 - درجه بندی ها - درجه بندی ها برای کویل های هوا خنک و هوا گرم با چرخش اجباری متشکل از درجه بندی های استاندارد و کاربرد استفاده شده در انتخاب یا کاربرد کویل ها می باشد. این درجه بندی ها معمولاً برای یک بازه از شرایط عملی مواجه شده داده می شود به طوری که درجه بندی در هر شرایط مطلوب ممکن است به صورت مستقیم یا با درون یابی انتخاب شود.

1-1-6 - درجه بندی ها باید شامل داده های افت فشار و خصوصیات عملکردی تولید شده تحت شرایط مشخص یا وسیله هایی برای محاسبه ملزومات خاص کویل باشد.

2-1-6 - درجه بندی ها می تواند به شکل منحنی ها، جداول، نمودارها یا روندهای کامپیوتری درجه بندی/انتخاب اتوماتیک ارائه شوند.

3-1-6 - درجه بندی ها باید با استفاده از خصوصیات عملکردی پایه ای به دست آمده از تست های آزمایشگاهی مطابق این استاندارد، توسعه پیدا کنند.

6-2- معادلات انتقال حرارت برای کاهش تست آزمایشگاهی و برای درجه بندی ها- روند کاهش داده های تست اولیه و محاسبات برای تعیین موارد زیر در استاندارد *ANSI/ASHRAE 33* هم برای گرمایش و هم سرمایش محسوس هوا و برای کویل های رطوبت زدا و هوا خنک داده شده است:

الف- نرخ جریان هر دو سیال

ب- ظرفیت انتقال حرارت محسوس و/یا کلی متوسط یا ارزیابی شده

ج- شرایط ورودی و خروجی سیال

د- افت های فشار سیال

6-2-1- مقاومت حرارتی فلز فین های خارجی و دیواره لوله برای تمامی کاربردها- مقاومت گرمایی فلز کلی R_m به

جریان حرارتی در فین های خارجی و دیواره لوله ابتدایی به صورت زیر محاسبه می شود:

$$R_m = R_f + R_t$$

(1)

که مقاومت حرارتی فلز لوله ثابت R_t به شکل زیر است:

$$R_t = \frac{BD_i}{24k_t} \left(\ln \frac{D_o}{D_i} \right) = \left[\frac{BD_i}{2k_t} \left(\ln \frac{D_o}{D_i} \right) \right]$$

و مقاومت حرارتی فلز فین متغیر R_f بر اساس راندمان سطحی خارجی کلی η به صورت زیر است:

$$R_f = \left(\frac{1-\eta}{\eta} \right) (R_{ad}) \quad (\text{for dry surface}) \quad (2)$$

$$R_f = \left(\frac{1-\eta}{\eta} \right) \left(R_{aw} \frac{c_p}{m''} \right) \quad (\text{for wet surface}) \quad (2a)$$

$$\eta = \frac{\phi A_s + A_p}{A_b} \quad (3)$$

تاثیر m'' روی R_{aw} همانطور که در معادله (a2) نشان داده شده است، توسط براون¹ به دست آمده (مرجع A1.7) که به تئوری کویل مرطوب واره-هاچا² (مرجع A1.18) برای تعیین تاثیر ضمنی آن روی R_f اعمال شده است.

6-2-2- کویل های هوایی گرمایش محسوس- معادلات مربوط به ظرفیت حرارتی محسوس ارزیابی شده یا متوسط

qs به هر دو سیال سمت هوا و سمت لوله با یک بالانس حرارتی ماده در پاراگراف های کاربردی استاندارد 33 *ANSI/ASHRAE* داده شده است.

¹ Brown

² Ware-Hacha

ظرفیت حرارتی محسوس مشابه qs مربوط به این بالانس حرارتی ماده بر حسب نرخ انتقال حرارت کلی بین سیال ها به صورت زیر تعریف می گردد:

$$q_s = \frac{A_s \Delta T_m}{R} \quad (4)$$

که برای سطوح تمیز داریم:

$$R = R_{ad} + R_m + R_w \text{ (or } R_r \text{ or } R_g \text{ or } R_v) \quad (5)$$

$$R_{ad} + R_m = \frac{R_{ad}}{\eta} + R_r \quad (6)$$

و برای کاهش تست آزمایشگاهی آب سرد و گرم $R_{fa} = 0$ و درجه بندی ها (تولید کننده می تواند ضرایب رسوب مجاز را انتخاب کند، مرجع A.1.2 را برای مقادیر نمونه ای ببینید):

$$R_w = B \left(\frac{1}{f_w} + R_{fa} \right) \quad (7)$$

برای بخار داریم:

$$R_v = \frac{B}{f_v} \quad (7a)$$

برای کاهش تست آزمایشگاهی محلول آبی اتیلن گلیکول سرد و گرم $R_{fa} = 0$ و درجه بندی ها (تولید کننده می تواند ضرایب رسوب مجاز را انتخاب کند، مرجع A.1.2 را برای مقادیر نمونه ای ببینید):

$$R_g = B \left(\frac{1}{f_g} + R_{fa} \right) \quad (7b)$$

برای میرد فرار:

$$R_r = \frac{B}{f_r} \quad (7c)$$

برای تمامی کویل های آبی با طراحی های سطح با دیواره های لوله داخلی صاف، ضریب انتقال حرارت لایه آب سمت لوله f_w جایی که رینولدز از 3100 بیشتر است، با استفاده از معادله منحنی تطابق (8) نشان داده شده در شکل 17 تعیین می گردد.

برای کویل های آبی با استفاده از هندسه های لوله به غیر از دیواره های داخلی صاف، ضریب انتقال حرارت لایه آب سمت لوله f_w وسیله تست های مشابه 2-2-3-4-5 تعیین می گردد. برای کویل های بخار، ضریب انتقال حرارت لایه بخار سمت لوله f_v همانطور که در جدول 2 نکته سه بیان شده است محاسبه می گردد. برای کویل های میرد فرار، ضریب انتقال حرارت لایه میرد سمت لوله f_r همانطور که در 3-3-6 توصیف شده است تعیین می گردد. برای کویل های محلول آبی اتیلن گلیکول، ضریب انتقال حرارت لایه محلول آبی اتیلن گلیکول سمت لوله f_g مطابق با 7-4-6 به دست می آید.

برای کویل های آبی داریم:

$$V_w = \frac{w_w}{224500 A_{ix}} = \left[\frac{w_w}{998.927 A_{ix}} \right] \quad (8)$$

برای کویل های آبی محلول اتیلن گلیکول:

$$V_g = \frac{w_g}{3600 \rho_g A_{ix}} = \left[\frac{w_g}{\rho_g A_{ix}} \right] \quad (8a)$$

برای کویل های آب سرد جریان مخالف:

$$\Delta t_m = \frac{(t_{1db} - t_{w2}) - (t_{2db} - t_{w1})}{\ln \left(\frac{t_{1db} - t_{w2}}{t_{2db} - t_{w1}} \right)} \quad (9)$$

برای کویل های محلول آبی اتیلن گلیکول سرد جریان مخالف:

$$\Delta t_m = \frac{(t_{1db} - t_{g2}) - (t_{2db} - t_{g1})}{\ln \left(\frac{t_{1db} - t_{g2}}{t_{2db} - t_{g1}} \right)} \quad (9a)$$

برای کویل های آب داغ با جریان مخالف:

$$\Delta t_m = \frac{(t_{w2} - t_{1db}) - (t_{w1} - t_{2db})}{\ln \left(\frac{t_{w2} - t_{1db}}{t_{w1} - t_{2db}} \right)} \quad (10)$$

برای کویل های محلول آبی داغ اتیلن گلیکول جریان مخالف:

$$\Delta t_m = \frac{(t_{g2} - t_{1db}) - (t_{g1} - t_{2db})}{\ln \left(\frac{t_{g2} - t_{1db}}{t_{g1} - t_{2db}} \right)} \quad (10a)$$

برای کویل های مبرد فرار داغ جریان مخالف:

$$\Delta t_m = \frac{(t_{1db} - t_{r1}) - (t_{2db} - t_{rc2g})}{\ln \left(\frac{t_{1db} - t_{r1}}{t_{2db} - t_{rc2g}} \right)} \quad (11)$$

برای کویل های بخار (تک لوله ای):

$$\Delta t_m = \frac{(t_{2db} - t_{1db})}{\ln \left(\frac{t_{vmg} - t_{1db}}{t_{vmg} - t_{2db}} \right)} \quad (12)$$

برای کویل های بخار (توزیعی):

$$\Delta t_m = \frac{(t_{2db} - t_{1db})}{\ln \left(\frac{t_{v2g} - t_{1db}}{t_{v2g} - t_{2db}} \right)} \quad (12a)$$

برای سایر آرایش های جریان لوله ای 2-6-4 را ببینید.

3-2-6- کویل های سرمایشی و رطوبت زدای هوایی: روش استفاده شده در این استاندارد برای محاسبه عملکرد کویل سطح مرطوب با بعضی از اصلاحات مشابه روش مطرح شده در استاندارد فنی *BCMI-TS4044* (مرجع A1.6) با تئوری مقدماتی ارائه شده به وسیله مگلین و وایلی¹ (مرجع A1.15) می باشد. سایر محققان با تبدیل پتانسیل های دوگانه مقدماتی استفاده شده در روش توصیف شده در این استاندارد به یک پتانسیل یگانه معادل، روش های درجه بندی مشابه دیگری را توسعه داده اند (مرجع A1.18 و ضمیمه B).

1-3-2-6- نسبت حرارت محسوس-نسبت سمت هوای گرمای محسوس به گرمای کلی به صورت زیر محاسبه می

گردد:

$$q_s/q_t = \frac{c_p(t_{1db} - t_{2db})}{h_1 - h_2} \quad (13)$$

نسبت q_s/q_t به عنوان شاخصی برای تعریف نوع روند مورد نیاز برای محاسبه درجه بندی ها به صورت زیر محاسبه می

گردد:

اگر $q_s/q_t < 0.95$ باشد از معادلات لیست شده در 3-2-6 استفاده کنید.

اگر $q_s/q_t \geq 0.95$ از معادلات سطح خشک معمول، انتقال حرارت محسوس لیست شده در 2-2-6 استفاده نمایید.

2-3-2-6- ظرفیت حرارت کلی یا ملزومات ناحیه سطحی خارجی کلی- وابسته به شرایط عملکرد، ممکن است

سطح سمت هوای کویل به صورت کاملا مرطوب عمل کند یا بخشی از آن با سطح خشک کار کند. برای حالتی که تمامی سطح مرطوب می باشد، تمامی دماهای سطحی t_s هر قسمت کویل کمتر از دمای نقطه شبنم هوای ورودی t_{ldp} قرار دارند. برای حالتی که دماهای سطحی t_s قسمتی از کویل بیشتر از دمای نقطه شبنم هوای ورودی باشد، این بخش از ناحیه سطحی کویل AD به صورت خشک و مابقی ناحیه سطحی کویل AW مرطوب یا رطوبت چگالنده فعال، عمل می کند. برای این مورد اخیر، ملزومات ناحیه سطحی کویل برای بخش های خشک و مرطوب کویل به صورت مجزا محاسبه می گردد.

برای بخش مرطوب کویل، ناحیه سطحی مرطوب AW یا ظرفیت حرارتی کلی مربوطه q_{tw} با استفاده از اختلاف آنتالپی

هوای میانگین بین جریان هوا و مقدار مربوط به دمای سطحی کویل، محاسبه می گردد.

معادلات مربوط به ظرفیت حرارتی کلی یا متوسط q_t هم برای هوا و هم برای سیال سمت لوله به وسیله بالانس حرارتی

ماده، در پاراگراف های کاربردی استاندارد *ANSI/ASHRAE 33* داده شده است. ظرفیت حرارتی کلی مشابه q_t مربوط به این

¹McElgin and Wiley

بالانس حرارتی ماده، برای حالت کلی جایی که بخشی از ناحیه سطحی کویل به صورت خشک عمل می کند به صورت زیر است:

$$q_t = \frac{A_D \Delta t_m}{R} + \frac{A_W \Delta h_m}{c_p R_a W} \quad (14)$$

که :

$$\frac{A_D \Delta t_m}{R} = q_{tD}$$

ظرفیت سطح خشک

$$\frac{A_W \Delta h_m}{c_p R_a W} = q_{tW}$$

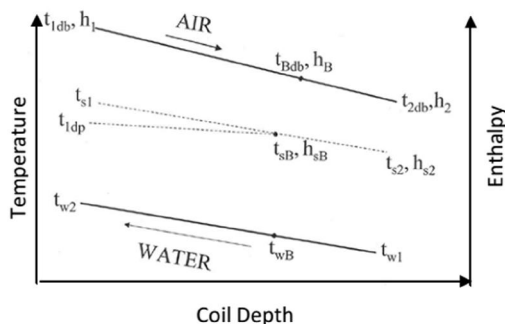
ظرفیت سطح مرطوب

$$q_{tD} + q_{tW} = q_t$$

ظرفیت حرارتی کلی مورد نیاز

اگر تمام سطح سمت هوا به صورت فعال رطوبت را متراکم کند، عبارت q_{tD} در معادله (14) حذف خواهد گردید.

برای کویل های آبی جریان مخالف:

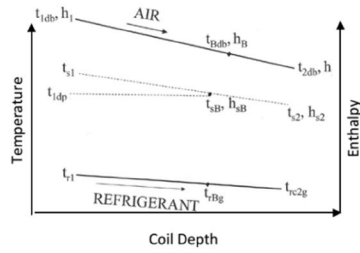


Graphic representation of Equations (15) and (16)

$$\Delta t_m = \frac{(t_{1db} - t_{w2}) - (t_{Bdb} - t_{wB})}{\ln \left(\frac{t_{1db} - t_{w2}}{t_{Bdb} - t_{wB}} \right)} \quad (15)$$

$$\Delta h_m = \frac{(h_B - h_{sB}) - (h_2 - h_{s2})}{\ln \left(\frac{h_B - h_{sB}}{h_2 - h_{s2}} \right)} \quad (16)$$

برای کویل های مبرد فرار حرارتی جریان مخالف:

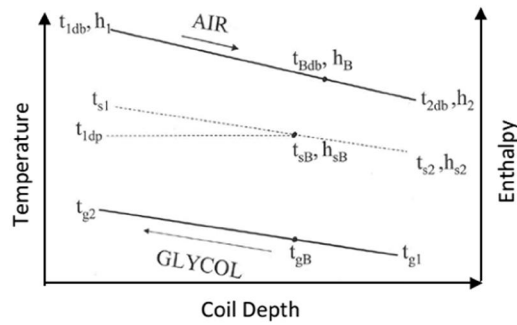


Graphic representation of Equations (15a) and (16a)

$$\Delta t_m = \frac{(t_{1db} - t_{r1}) - (t_{Bdb} - t_{rB})}{\ln\left(\frac{t_{1db} - t_{r1}}{t_{Bdb} - t_{rB}}\right)} \quad (15a)$$

$$\Delta h_m = \frac{(h_B - h_{sB}) - (h_2 - h_{s2})}{\ln\left(\frac{h_B - h_{sB}}{h_2 - h_{s2}}\right)} \quad (16a)$$

برای کویل های محلول آبی اتیلن گلیکول:



Graphic representation of Equations (15b) and (16b)

$$\Delta t_m = \frac{(t_{1db} - t_{g2}) - (t_{Bdb} - t_{gB})}{\ln\left(\frac{t_{1db} - t_{g2}}{t_{Bdb} - t_{gB}}\right)} \quad (15b)$$

$$\Delta h_m = \frac{(h_B - h_{sB}) - (h_2 - h_{s2})}{\ln\left(\frac{h_B - h_{sB}}{h_2 - h_{s2}}\right)} \quad (16b)$$

در معادلات فوق h_{s2} اشاره به آنتالپی هوای اشباع در دمای سطحی برای سمت هوای خروجی کویل، دارد.

3-2-6- مشخصات کویل- مشخصات کویل بر حسب مقاومت حرارتی اختصاصی:

$$C = \frac{R_m + R_w}{c_p R_{aW}}$$

برای آب

17

$$C = \frac{R_m + R_r}{c_p R_{aW}} \quad \text{برای مبرد فرار} \quad 17 \text{ الف}$$

$$C = \frac{R_m + R_g}{c_p R_{aW}} \quad \text{برای محلول آبی اتیلن گلیکول} \quad 17 \text{ ب}$$

و همچنین برای هر شرایطی در ناحیه سطح مرطوب 1 مانند اختلافات نهایی، مشخصات کویل برای به دست آوردن دسته بندی درست بین اختلاف آنتالپی سمت هوا $h-h_s$ و اختلاف دمای سمت لوله t_s-t_w , t_s-t_{rg} , or t_s-t_g به صورت زیر مورد استفاده قرار می گیرد:

$$C = \frac{t_s - t_w}{h - h_s} \quad \text{برای آب} \quad 18$$

$$C = \frac{t_s - t_{rg}}{h - h_s} \quad \text{برای مبرد فرار} \quad 18 \text{ الف}$$

$$C = \frac{t_s - t_g}{h - h_s} \quad \text{برای محلول آبی اتیلن گلیکول} \quad 18 \text{ ب}$$

C از معادلات 17، 17 الف یا 17 ب با استفاده از مقادیر معلوم RaW ، Rm و Rw ، Rr یا Rg محاسبه می گردد. سپس با مقادیر معلوم h ، t_w ، tr یا tg در یک موقعیت داده شده درون ناحیه مرطوب، مقادیر مربوطه ts و hs با استفاده از معادلات 18، 18 الف یا 18 ب با استفاده از جداول آنتالپی هوا با سعی و خطا به صورت دقیق محاسبه می شوند. یک روش مستقیم برای یافتن ts و hs برای تخمین نزدیک حل دقیق داده شده به وسیله معادلات 18، 18 الف یا 18 ب می تواند با استفاده از نمودار دمای سطحی همگانی مانند آنچه در شکل 9 نشان داده شده است، به دست می آید.

4-3-2-6- تعیین مرز مرطوب- خشک برای سطوح به طور جزئی خشک- تحت شرایط کارکردی که بخشی از کویل به صورت خشک عمل می کند، شرایط مرزی بین ناحیه سطح خشک و مرطوب با محاسبه آنتالپی جریان هوا h_B در این نقطه به دست می آید.

برای کویل های آبی جریان مخالف:

$$h_B = \frac{t_{1dp} - t_{w2} + y h_1 + C h_{1dp}}{C + y} \quad (19)$$

برای کویل های مبرد فرار حرارتی جریان مخالف:

$$h_B = \frac{t_{1dp} - t_{r1} + y h_1 + C h_{1dp}}{C + y} \quad (19a)$$

برای کویل های اتیلن گلیکول آبی:

$$h_B = \frac{t_{1dp} - t_{g2} + y h_1 + C h_{1dp}}{C + y} \quad (19b)$$

جایی که:

$$y = \frac{t_{w2} - t_{w1}}{h_1 - h_2} \text{ (for water coils)} \quad (20)$$

$$y = \frac{t_{r1} - t_{rc2g}}{h_1 - h_2} \quad \text{برای کویل های مبرد فرار} \quad \text{20 الف}$$

$$y = \frac{t_{g2} - t_{g1}}{h_1 - h_2} \quad \text{برای کویل های محلول آبی اتیلن گلیکول} \quad \text{20 ب}$$

اگر $hB \geq hI$ باشد تمامی سطحی کویل مرطوب خواهد بود و $A_D = 0$ خواهد بود. فقط ناحیه سطح مرطوب AW در این شرایط محاسبه خواهد شد. اگر $hB < hI$ باشد بخشی از سطح به صورت خشک عمل می کند. در این شرایط نواحی سطحی خشک AD و مرطوب AW به صورت جداگانه محاسبه خواهند شد.

دمای حباب خشک هوا در مرز مرطوب-خشک به صورت زیر است:

$$t_{Bdb} = t_{ldb} - \left(\frac{h_1 - h_B}{c_p} \right) \quad (21)$$

بار حرارتی کلی برای ناحیه سطح خشک به صورت زیر است:

$$q_{tD} = 60 w_a (h_1 - h_B) = [1000 w_a (h_1 - h_B)] \quad (22)$$

بار حرارتی برای ناحیه سطح مرطوب به صورت زیر است:

$$q_{tW} = q_t - q_{tD} \quad (23)$$

دمای آب سرد در مرز خشک-مرطوب با کویل های **جریان مخالف**:

$$t_{wB} = t_{w2} - \left(\frac{q_{tD}}{w_w c_{pw}} \right) \quad (24)$$

دمای محلول آبی سرد اتیلن گلیکول با کویل **جریان مخالف**:

$$t_{gB} = t_{g2} - \left(\frac{q_{tD}}{w_g c_{pg}} \right) \quad (24a)$$

5-3-2-6- تعیین دمای حباب خشک هوای خروجی- اگر $t \geq t_{ldp}$ سطح کویل خشک بوده و دمای هوای حباب

خشک خروجی باید با استفاده از روش توصیف شده در 2-2-6 محاسبه گردد. برای سطوح مرطوب یا به طور جزئی مرطوب، دمای هوای حباب خشک خروجی t_{2db} باید به صورت زیر محاسبه گردد:

$$c = \frac{A_o}{60 c_p w_a R_{aD}} = \frac{A_o}{14.58 w_a R_{aD}} = \left[\frac{A_o}{1000 c_p w_a R_{aD}} \right] = \left[\frac{A_o}{1017 w_a R_{aD}} \right] \quad (25)$$

و همچنین

$$e^{-c} = \frac{h_2 - h_s}{h_1 - h_s} = \frac{t_{2db} - t_s}{t_{1db} - t_s} \quad (26)$$

آنتالپی هوای اشباع h_s مربوط به دمای سطح موثر کویل به صورت زیر است:

$$h_s = h_1 - \left(\frac{h_1 - h_2}{1 - e^{-c}} \right) \quad (27)$$

دمای حباب خشک هوای خروجی t_{2db} به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$t_{2db} = t_s + (t_{1db} - t_s) e^{-c} \quad (28)$$

6-2-3-6 - تعیین ظرفیت حرارتی نهان و محسوس - ظرفیت های حرارتی سمت هوای محسوس q_s و کلی qt از معادلات کاربردی استاندارد 33 *ANSI/ASHRAE* محاسبه می شوند.

6-3 - کاهش داده های تست های آزمایشگاهی برای تعیین پارامترهای درجه بندی - فرم هایی که در اینجا به آن ها اشاره شده است در *AHRI OM-410 Addendum* (مرجع A1.3) وجود دارند.

6-3-1 - محاسبات داده های فیزیکی کویل - روند محاسبات داده های فیزیکی کویل و راندمان فین که تحلیل تست های آزمایشگاهی و آماده سازی برای درجه بندی بر اساس آن ها صورت می گیرد، در *AHRI OM-410 Addendum* فرم 1-410 با جزئیات آمده است و بر اساس معادلات لیست شده در 1-4 می باشد.

Table 3. Metal Thermal Conductivities		
Material	Temperature	Thermal Conductivity, k Btu-ft/(h-ft ² -°F) [10 ³ W-mm/(m ² -°C)]
	°F [°C]	
Aluminum Alloy 1100 Temper O	77 [25]	128.3 [221.7]
Aluminum Alloy 3003 Temper O	77 [25]	111.7 [193.0]
Aluminum Alloy 3003 Temper H18	77 [25]	89.2 [154.1]
Copper (C11000)	68 [20]	226.0 [390.5]
Copper (C12200)	68 [20]	196.0 [338.7]
Red Brass (85-15%, C23000)	68 [20]	92.0 [159.0]
Cupronickel (90-10%, C70600)	68 [20]	26.0 [44.9]
Cupronickel (70-30%, C71500)	68 [20]	17.0 [29.4]
Admiralty (C44300, C44400, C44500)	68 [20]	64.0 [110.6]
Steel-Carbon (SAE 1020)	212 [100]	30.0 [51.8]
Stainless Steel 304, 304L, 316, 316L	212 [100]	9.4 [16.2]
Stainless Steel 410 and 420	212 [100]	14.4 [24.9]
Stainless Steel 347 and 321	212 [100]	9.3 [16.1]

See References A1.9 and A1.11.

6-3-2 - محاسبات مقاومت حرارتی فلز برای مونتاژ فین و لوله - روند محاسبات برای تعیین مقاومت حرارتی فلز R_m با جزئیات در فرم 1-410 آمده و بر اساس محاسبات لیست شده در 1-2-6 است. هیچگونه داده تجربی برای این محاسبات مورد نیاز نمی باشد. هدایت های حرارتی فلز برای استفاده در فرم 1-410 در جدول 3 آورده شده اند.

R_m شامل دو مقاومت است: الف: مقاومت حرارتی متغیر R_f فین های خارجی بر اساس راندمان سطح کلی برای سطوح خشک یا مرطوب ب: مقاومت حرارتی ثابت R_t دیواره لوله ابتدایی. بر اساس نوع طراحی لوله، R_t می تواند قابل صرف نظر کردن باشد یا نباشد.

نمایشی ترسیمی از $RaD + RmD$ بر حسب RaD در شکل 1 نشان داده شده است و فقط برای کاربردهای سطح خشک است. این ترسیم برای تحلیل تست های آزمایشگاهی یا درجه بندی کویل های حرارتی محسوس به کار گرفته می شود. نمایش ترسیمی Rm بر حسب faD برای کویل های سطح خشک یا Rm بر حسب faW برای کویل های با سطح مرطوب در شکل 2 نشان داده شده است.

برای سطح مرطوب عبارت m''/cp از شکل 8 تعیین می گردد. داده های نشان داده شده در شکل 2 برای تعیین Rm در تحلیل نتایج تست های آزمایشگاهی یا درجه بندی های تمامی انواع کویل ها به کار می روند.

تمامی محاسبات مقاومت حرارتی فین Rf باید بر اساس راندمان های فین ϕ همانطور که در مرجع $AI.10$ توسعه داده شده است، باشد. این داده ها به وسیله گاردنر¹ برای فین های با شکل حلقوی با ضخامت فین و همچنین طراحی های سطح مقطع عرضی ثابت به ترتیب در شکل 10 و 11 نشان داده شده اند.

برای فین های غیر حلقوی روش قطعه قطعه کردن فین توصیف شده در مراجع $AI.8$ و $AI.16$ برای محاسبه مقاومت حرارتی فین Rf می تواند مورد استفاده قرار گیرد. راندمان قطعه های اختصاصی فین باید بر اساس داده های گاردنر در شکل 10 یا 11 باشد.

3-3-6 - کویل های بخار گرم محسوس هوا- روند محاسبات برای تعیین ضرایب عملکردی برای درجه بندی کویل بخار به دست آمده از تست های آزمایشگاهی در فرم 2-410 با جزییات آمده است. این تحلیل بر اساس معادلات انتقال حرارت کاربردی تحت 2-2-6 است. این روند همچنین شامل پارامترهای بر اساس نتایج تجربی است که برای تعیین افت فشار سمت هوای کویل مورد استفاده قرار می گیرند. افت فشار بخار درون لوله ها با روند محاسباتی که در فرم 3-410 آمده است تعیین می گردد.

از تحلیل تست های آزمایشگاهی کویل های بخار همانطور که در فرم های 2-410 و 3-410 آمده است، همانطور که در شکل 3 نشان داده شده است، ترسیم های زیر از داده های تجربی برای درجه بندی ها مورد استفاده قرار می گیرند.

a. R vs. V_a

b. $\frac{\Delta p_{st}}{N_r}$ vs. V_a

c. $\frac{\Delta p_{tv}}{L_e V_{vmg}}$ vs. $\frac{w_v}{N_c}$

¹Gardner

یک دیاگرام حرارتی نوعی برای کویل های بخار با تخصیص دمای سیال در صفحه آخر فرم 2-410 نشان داده شده است.

4-3-6- کویل های آب سرد و گرم حرارتی محسوس هوا- روند محاسبات برای تعیین ضرایب عملکرد برای درجه بندی های کویل های آب سرد و گرم حرارتی محسوس هوا به دست آمده از تست های آزمایشگاهی در فرم 2-410 با جزییات آمده است. این تحلیل بر اساس معادلات انتقال حرارت کاربردی تحت 2-2-6 است. این روند همچنین شامل پارامترهای بر اساس نتایج تجربی است که برای تعیین افت فشار سمت هوای کویل مورد استفاده قرار می گیرند. افت فشار آب درون لوله ها با روند محاسباتی که در فرم 3-410 آمده است تعیین می گردد.

از تحلیل تست های آزمایشگاهی کویل های آب سرد و گرم حرارتی محسوس هوا همانطور که در فرم های 2-410 و 3-410 آمده است، ترسیم های زیر از داده های تجربی برای درجه بندی ها مورد استفاده قرار می گیرند. چنان که در شکل 4 در راستای عملکرد آبی برای کویل های لوله داخلی صاف از شکل 17، نشان داده شده است.

- a. R_{aD} vs. V_a
- b. $(R_{aD} + R_{mD})$ vs. V_a
- c. $\frac{\Delta p_{st}}{N_r}$ vs. V_a
- d. $\frac{h_{Ll}}{L_c F_l}$ vs. V_w

برای طراحی های لوله به غیر از دیواره لوله داخلی صاف، عملکرد آب از 2-3-4-5 باید مورد استفاده قرار گیرد.

ضرایب Fh و Ft که در شکل 7 نشان داده شده اند، به ترتیب برای اصلاح افت فشار مدار لوله و کلگی برای سایر دماهای آب میانگین در جریان جرمی ثابت، به کار برده می شوند.

دیاگرام های جریان مخالف حرارتی نوعی برای کویل های آب سرد و گرم با دماهای سیال تخصیص یافته در صفحه آخر فرم 2-410 نشان داده شده است.

5-3-6- کویل های رطوبت زدا و خنک کننده آب سرد- روند محاسبات برای تعیین ضرایب عملکرد برای درجه بندی های کویل های رطوبت زدا و خنک کننده آب سرد به دست آمده از تست های آزمایشگاهی در فرم 2-410 با جزییات آمده است. این تحلیل بر اساس معادلات انتقال حرارت کاربردی تحت 3-2-6 است. روندهای جداگانه ای برای شرایطی که سطح کویل کاملاً خشک یا مرطوب است در نظر گرفته می شود. یک پارامتر بر اساس نتایج تست برای تعیین افت فشار سمت هوای سطح مرطوب کویل به کار برده می شود. در کنار افت فشار سمت هوای سطح مرطوب، هدف اساسی این مجموعه تست ها تعیین مقاومت حرارتی لایه هوای سطح مرطوب R_{aw} روی محدوده ارزیابی شده سرعت صفحه هوای استاندارد V_a و بررسی

این موضوع که آیا RaW با مقدار سطح خشک مربوطه RaD در یک سرعت هوای استاندارد داده شده متفاوت است، می باشد. RaD و RaW در یک مقدار داده شده Va بسته به طراحی صفحه کویل و نوع آرایش آن ممکن است یکسان باشند یا نباشند.

از تحلیل تست های آزمایشگاهی روی کویل های رطوبت زدا و خنک کننده آب سرد مطابق با فرم های 2-410 و 3-410، ترسیم های زیر از داده های تجربی همانطور که در شکل 5 نشان داده شده است برای درجه بندی در راستای عملکرد آبی برای کویل های لوله صاف از شکل 17 مورد استفاده قرار می گیرند.

a. R_{aW} vs. V_a

b. $\frac{\Delta p_{sw}}{N_r}$ vs. V_a

همچنین در شکل 5 نشان داده شده است که داده های زیر از شکل 4 (3-4-6) بر اساس تست های سطح خشک همچنین برای شرایط عملیاتی به طور جزئی مرطوب نیز کاربرد دارند.

c. R_{aD} vs. V_a

d. $\frac{\Delta p_{st}}{N_r}$ vs. V_a

e. $\frac{h_{Lt}}{L_c F_t}$ vs. V_w

برای سایر طراحی های لوله به جز دیواره لوله داخلی صاف عملکرد آبی از 2-3-4-5 باید مورد استفاده قرار گیرد.

ضرایب Fh و Ft که در شکل 7 نشان داده شده اند، به ترتیب برای اصلاح افت فشار مدار لوله و کنگی برای سایر دماهای آب میانگین در جریان جرمی ثابت، به کار برده می شوند.

یک دیاگرام جریان مخالف حرارتی نوعی برای کویل های رطوبت زدا و خنک کننده آب سرد در صفحه آخر فرم 6-410 نشان داده شده است. این دیاگرام شرایطی را نشان می دهد که بخشی از سطح کویل به صورت خشک عمل می کند. آنتالپی های هوا، شرایط دمایی سیال و سطح و شرایط مرز خشک-مرطوب همانطور که تحلیل در فرم 2-410 و 3-410 آورده شده، نشان داده شده است.

6-3-6 - کویل های رطوبت زدا و خنک کننده مبرد فرار- روند محاسبات برای تعیین ضرایب عملکردی برای درجه بندی کویل رطوبت زدا و خنک کننده مبرد فرار به دست آمده از تست های آزمایشگاهی در فرم 4-410 با جزییات آمده است. این تحلیل بر اساس معادلات انتقال حرارت کاربردی تحت 3-2-6 است. روندهای جداگانه ای برای شرایطی که سطح کویل کاملاً خشک یا کاملاً مرطوب است در نظر گرفته شده است. هدف اساسی این مجموعه تست ها تعیین ضریب انتقال حرارت لایه تبخیر شونده مبرد f_r و افت فشار مبرد Δp_{proc} درون مدار لوله های کویل است.

از تحلیل تست های آزمایشگاهی کویل های رطوبت زدا و خنک کننده مبرد فرار همانطور که در فرم 4-410 آمده است، ترسیم های زیر از داده های آزمایشگاهی چنانچه که در شکل 6 نشان داده شده است، برای درجه بندی ها مورد استفاده قرار می گیرند.

a. R_r vs. $\frac{q_t}{N_c}$

b. $\frac{\Delta p_{rc}}{L_c V_{rc2g}}$ vs. $\frac{w_r}{N_c}$

همچنین مقادیر نشان داده شده در شکل 6 از داده های زیر از شکل 5 هستند که از تست ها کویل آبی و محاسبات قبلی تعیین شده اند.

c. $\frac{\Delta p_{st}}{N_r}$ vs. V_a

d. $\frac{\Delta p_{sw}}{N_r}$ vs. V_a

e. R_{aD} vs. V_a

f. R_{aW} vs. V_a

یک دیاگرام جریان مخالف حرارتی نوعی برای کویل های رطوبت زدا و خنک کننده مبرد فرار در صفحه آخر فرم 6-410 نشان داده شده است. این دیاگرام شرایطی را نشان می دهد که بخشی از سطح کویل به صورت خشک عمل می کند. آنتالپی های هوا، شرایط دمایی سیال و سطح و شرایط مرز خشک-مرطوب همانطور که در تحلیل داده شده در فرم 4-410 آورده شده، نشان داده شده است.

7-3-6 کویل های محلول آبی اتیلن گلیکول- روند محاسبات برای تعیین ضرایب عملکردی برای درجه بندی کویل محلول آبی اتیلن گلیکول به دست آمده از تست های آزمایشگاهی در فرم 7-410 با جزییات آمده است. این تحلیل بر اساس معادلات انتقال حرارت کاربردی در شکل 16 است. روند برای شرایطی است که سطح کویل کاملاً خشک است. هدف اصلی از این مجموعه تست ها تعیین عملکرد انتقال حرارت سمت لوله محلول آبی اتیلن گلیکول (ز و f_g) و ضریب اصطکاک f' است.

از تحلیل تست های آزمایشگاهی کویل های محلول آبی اتیلن گلیکول همانطور که در فرم 7-410 آمده است، ترسیم های زیر از داده های تجربی، چنانچه در شکل 16 نشان داده شده است برای درجه بندی ها مورد استفاده قرار می گیرند.

a. j vs. Re

b. f' vs. Re

همچنین داده های زیر از شکل 5 از تست ها کویل آبی و محاسبات قبلی برای درجه بندی کویل محلول آبی اتیلن گلیکول استفاده شده است.

- c. R_{aD} vs. V_a
- d. R_{aW} vs. V_a
- e. $(R_{aD} + R_{mD})$ vs. V_a
- f. $\frac{\Delta p_{st}}{N_r}$ vs. V_a
- g. $\frac{\Delta p_{sw}}{N_r}$ vs. V_a

یک دیاگرام جریان مخالف حرارتی نوعی برای کویل های محلول آبی اتیلن گلیکول در صفحه آخر فرم 9-410 نشان داده شده است. این دیاگرام شرایطی را نشان می دهد که بخشی از سطح کویل به صورت خشک عمل می کند. آنتالپی های هوا، شرایط دمایی سیال و سطح و شرایط مرز خشک-مرطوب همانطور که در تحلیل داده شده در فرم 7-410 آورده شده، نشان داده شده است.

6-4-6- درجه بندی های استاندارد

1-4-6-1- تلرانس ها- درجه بندی های استاندارد باید به گونه ای باشد که هر کویل انتخاب شده به صورت تصادفی

در هنگام تست ظرفیت کلی آن کمتر از 95 درصد ظرفیت کلی منتشر شده آن نباشد. مقادیر منتشر شده از مقادیر افت فشار سمت هوا، نباید بیشتر از 10 درصد یا $0.05 \text{ in H}_2\text{O}$ [5 Pa]، هر کدام که بزرگتر است، باشد. مقادیر منتشر شده از مقادیر افت فشار سمت هوا، نباید بیشتر از 10 درصد یا $0.02 \text{ in H}_2\text{O}$ [5 Pa]، هر کدام که بزرگتر است، باشد. مقادیر منتشر شده از مقادیر افت فشار سمت لوله، نباید بیشتر از 10 درصد یا 1.0 ft سیال [0.3048 m]، هر کدام که بزرگتر است، باشد.

2-4-6- محاسبات- محاسبات درجه بندی های استاندارد باید بر اساس ضرایب انتقال حرارت و مشخصات کویل به

دست آمده از تست های آزمایشگاهی باشد.

در این استاندارد، عبارات برای اختلاف های موثر میانگین لگاریتمی Δh_m و Δt_m فقط برای حالت جریان مخالف حرارتی بین هوا و سیال های سمت لوله همانطور که در 2-2-6 و 2-3-2-6 تعریف شده است، نشان داده شده است. این باید وظیفه تولید کننده باشد که میزان مجاز مناسب را به این اختلاف های موثر میانگین لگاریتمی را در نظر بگیرد برای آن دسته از طراحی های کویل که آرایش لوله های جریان سبب انحراف از روابط جریان مخالف حرارتی توصیف شده در این استاندارد، می گردد.

در انتشار درجه بندی های استاندارد وظیفه تولید کننده خواهد بود که مقادیر مجاز مناسب را برای تاثیرات افت فشار لوله، انباشتگی چگالش و غیره روی ظرفیت کویل، در نظر بگیرد.

3-4-6 - کویل های بخار گرم هوای محسوس-روشی پیشنهاد شده برای کویل های بخار گرم هوای محسوس در فرم 5-410 نشان داده شده است.

درجه بندی های استاندارد برای تعیین تعداد ردیف ها Nr یا ظرفیت حرارتی محسوس qs برای شرایط شغلی خاص با استفاده از داده های زیر به دست می آید:

الف- فاکتورهای عملکردی همانطور که در شکل 3 نشان داده شده است.

ب- معادلات انتقال حرارت کاربردی در 2-2-6

ج- پارامترهای افت فشار بخار تعیین شده تولید کنندگان (هدر ها، نازل ها، ورود و خروج لوله و طول معادل مدار کویل در هر دور)

4-4-6 - کویل های آبی سرد و گرم محسوس به دما- این روش درجه بندی کویل های خنک کننده محسوس برای کاربردهایی است که که نسبت حرارت محسوس دما $qs/qt \geq 0.95$ باشد. برای شرایطی که $qs/qt < 0.95$ از سطح مرطوب، روش حرارتی کلی توصیف شده در 5-4-6 استفاده کنید. روشی پیشنهاد شده برای درجه بندی کویل های آبی سرد و گرم حرارتی محسوس به هوا در فرم 5-410 نشان داده شده است.

درجه بندی های استاندارد برای تعیین تعداد ردیف ها Nr یا ظرفیت حرارتی محسوس qs برای شرایط شغلی خاص با استفاده از داده های زیر به دست می آید:

الف- فاکتورهای عملکردی همانطور که در شکل 4 نشان داده شده است.

ب- عملکرد آبی برای کویل های دیواره لوله داخلی صاف از شکل 17- برای طراحی های لوله به غیر از دیواره های لوله داخلی صاف، عملکرد آبی از 2-3-4-5 باید مورد استفاده قرار گیرد.

ج- معادلات انتقال حرارت کاربردی در 2-2-6

د- Fh و Ft در شکل 7

ذ- پارامترهای افت فشار آبتعیین شده تولید کنندگان (هدر ها، نازل ها، ورود و خروج لوله و طول معادل مدار کویل در هر دور)

5-4-6 - کویل های رطوبت زدا و خنک کننده آبی سرد- این روش درجه بندی برای کاربردهایی است که نسبت حرارت محسوس هوا $qs/qt < 0.95$ باشد. برای شرایطی که $qs/qt \geq 0.95$ باشد از سطح خشک، روش حرارتی محسوس

توصیف شده در 6-4-4 استفاده کنید. روشی پیشنهاد شده برای درجه بندی کویل های رطوبت زدا و خنک کننده آبی سرد در فرم 6-410 نشان داده شده است.

درجه بندی های استاندارد برای تعیین ناحیه سطح خارجی کلی A_0 یا ظرفیت حرارتی محسوس q_s برای شرایط شغلی خاص با استفاده از داده های زیر به دست می آید:

الف- فاکتورهای عملکردی همانطور که در شکل 5 نشان داده شده است.

ب- عملکرد آبی برای کویل های دیواره لوله داخلی صاف از شکل 17- برای طراحی های لوله به غیر از دیواره های لوله داخلی صاف، عملکرد آبی از 2-3-4-5 باید مورد استفاده قرار گیرد.

ج- معادلات انتقال حرارت کاربردی در 2-2-6 و 3-2-6

د- m''/cp در شکل 8 برای سطوح مرطوب

ذ- Rm برای سطح خشک و مرطوب همانطور که در شکل 2 نشان داده شده است.

ج- Fh و Ft در شکل 7

ح- منحنی دمای سطح کلی در شکل 9

خ- پارامترهای افت فشار آبتعیین شده تولید کنندگان (هدر ها، نازل ها، ورود و خروج لوله و طول معادل مدار کویل در هر دور)

6-4-6 کویل های رطوبت زدا و خنک کننده مبرد فرار- این روش درجه بندی برای کاربردهایی است که نسبت حرارت محسوس هوا $qs/qt < 0.95$ است.

برای شرایطی که $qs/qt \geq 0.95$ است از سطح خشک روش حرارتی محسوس توصیف شده در 6-4-4 استفاده کنید مگر برای تغییر داده های زیر:

الف- از ترسیم برای Rr همانطور که در شکل 6 نشان داده شده است به جای شکل 17 استفاده کنید.

ب- از ترسیم برای $(Levrc2g) pr\Delta/$ همانطور که در شکل 6 نشان داده شده است به جای ترسیم برای $hLt/(LeFt)$ در شکل 4 استفاده کنید.

ج- پارامترهای افت فشار مبرد تعیین شده تولید کنندگان (هدر ها، نازل ها، ورود و خروج لوله و طول معادل مدار کویل در هر دور)

درجه بندی های استاندارد برای تعیین ناحیه سطح خارجی کلی A_0 یا ظرفیت حرارتی محسوس q_s برای شرایط شغلی خاص با استفاده از داده های زیر به دست می آید:

الف- فاکتورهای عملکردی همانطور که در شکل 6 نشان داده شده است.

ب- معادلات انتقال حرارت کاربردی در 6-2-2 و 6-2-3

ج- m''/cp در شکل 8 برای سطوح مرطوب

د- Rm برای سطح خشک و مرطوب همانطور که در شکل 2 نشان داده شده است.

ذ- منحنی دمای سطح کلی در شکل 9

ر- پارامترهای افت فشار مبرد تعیین شده تولید کنندگان (هدر ها، نازل ها، ورود و خروج لوله و طول معادل مدار کوپل در هر دور)

7-4-6- کوپل های محلول آبی اتیلن گلیکول- روش درجه بندی کوپل های محلول آبی اتیلن گلیکول مشابه آنچه که در 6-4-4 و 6-4-5 برای کوپل های آبی توصیف شده است فقط با این تفاوت که ضرایب z و f^2 در شکل باید برای تعیین داده های عملکردی سمت لوله مورد استفاده قرار گیرند. روش های پیش بینی شده برای کوپل های حرارتی محسوس و کوپل های رطوبت زدا و خنک کننده به ترتیب در فرم های 8-410 و 9-410 نشان داده شده است.

بخش 7- مینیمم داده های مورد نیاز برای منتشر کردن درجه بندی ها

درجه بندی های منتشر شده حداقل باید تمامی درجه بندی های استاندارد را شامل شود. تمامی ادعاها برای درجه بندی در محدوده این استاندارد باید این عبارت را شامل شوند: "مجاز مطابق با استاندارد AHRISstandard410". تمامی ادعاهای درجه بندی خارج از محدوده این استاندارد باید شامل عبارت "خارج از محدوده AHRISstandard410" باشند. جایی که درجه بندی های کاربردی منشر شده یا پرینت گرفته شوند آنها باید شامل عبارتی از شرایطی باشند که درجه بندی ها در آن اعمال می گردند.

جایی که کاربردی باشد، اطلاعات زیر یا روش های تعیین آن بر اساس تست ها باید منتشر شود یا از طریق یک روند کامپیوتری اتوماتیک انتخاب/درجه بندی درون محدوده ای از شرایط درجه بندی مشخص شده در جدول 1 در دسترس باشد.

الف- نام و آدرس تولید کننده

ب- مدل، اندازه و/یا نوع

ج- محیط گرمایش/سرمایش

د- تمامی اطلاعات کاربردی ورودی مشخص شده در جدول 1

ذ- نرخ جریان حجمی هوای استاندارد $scfm [std. m^3/s]$

ح- افت فشار هوا در کویل در چگالی هوای استاندارد (سطح خشک و مرطوب)، $in H_2O [kpa]$

خ- ظرفیت سرمایی کلی (فقط کویل های رطوبت زدا) $Btu/h [W]$

ه- ظرفیت سرمایی/اگرمایش محسوس $Btu/h [W]$

ع- دمای حباب خشک هوای خروجی $F^\circ [^\circ C]$ یا برای کویل های گرمایشی افزایش دمای حباب خشک هوا $F^\circ [^\circ C]$

غ- دمای حباب مرطوب هوای خروجی $F^\circ [^\circ C]$

ف- نرخ جریان حجمی استاندارد آب یا محلول آبی اتیلن گلیکول $sgpm [std. m^3/s]$

ق- ضریب رسوب مجاز آب و محلول آبی اتیلن گلیکول $h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F / Btu [m^2 \cdot ^\circ C / w]$

ص- دمای آب یا محلول اتیلن گلیکول خروجی یا اختلاف دمای آب یا محلول اتیلن گلیکول $F^\circ [^\circ C]$

ض- افت فشار آب یا اتیلن گلیکول درون کویل (شامل هدر ها) در چگالی سیال میانگین، ft سیال (m سیال)

ک- دمای مایع مبرد ورودی به دستگاه کنترل مایع $F^\circ [^\circ C]$

اطلاعات قبلی باید در فشار بارومتریک $29.92 in Hg [101.3 Kpa]$ منتشر شده و در دسترس قرار گیرند و همچنین

ممکن است در سایر فشار های بارومتریک دیگر مشروط بر این که این فشار ها به طور واضح مشخص شوند، انتشار یابند.

بخش 8- واحد ها و نماد ها

نماد	شرح	یکا
A	مساحت	m^2
A_i	سطح داخلی تبادل حرارتی کویل $(N_i \pi d_i l_i 10^{-3})$	m^2
A_o	سطح خارجی تبادل حرارتی کویل	m^2
A_{oc}	سطح خارجی محاسبه شده کویل	m^2
A_s	سطح تماس ثانویه	m^2
A_p	(سطح جانبی کل پره ها) هر دو سمت پره (در جائیکه از پره های دارای ناف ⁸ استفاده می شود، سطح ناف به عنوان بخشی از سطح لوله در تماس با هوا در نظر گرفته می شود).	m^2

	A_0 و A_i نسبت سطح کویل	B
$\text{kJ}/(\text{C.kg})$	ظرفیت انتقال حرارت - معادله 25	C
$\text{kJ}/(\text{C.kg})$	ظرفیت حرارتی ویژه هوا	C_{pa}
$\text{kJ}/(\text{C.kg})$	ظرفیت حرارتی ویژه آب	C_{pw}
$\text{kJ}/(\text{C.kg})$	ظرفیت حرارتی در فشار ثابت از محلول اتیلن گلیکول	C_{pg}
-	نمای ⁹ معادله انتقال حرارت در شکل 13-14-15	C_o
mm	قطر	D
-	ضریب تاثیر سمت هوا	E
-	ضریب تصحیح دمای متوسط لگاریتمی	F
	ضریب اصلاح افت فشار سمت هوا	F_a
	ضریب اصلاح دما برای افت فشار داخل لوله در دمای میانگین t_w در شرایط کارکرد	F_t
	ضریب اصلاح دما برای افت فشار اصلی داخل لوله در دمای میانگین t_w در شرایط کارکرد	F_h
$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$	ضریب انتقال	f
$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$	ضریب سطحکاک	f'
$\text{Kg}/(\text{s}/\text{m}^2)$	سرعت جرمی	G
KJ/Kg	آنتالپی	h
m	ارتفاع کویل	H
m	کاهش در دانسیته میانگین مایع	h_L
KJ/Kg	اختلاف آنتالپی	$h_m \Delta$
	ضریب انتقال حرارت	j
$\text{W.mm}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$	ضریب هدایت حرارتی مواد	k
mm	طول کویل	L
M	طول یک مدار کامل آب ($l_c = N_t l_t / N_c$)	L_e
mm	طول یک پره (پره غیر دایره‌ای)	L_{eb}
-	نسبت ظرفیت حرارتی سمت هوا به آب	M
-	تعداد ردیف‌ها در کویل	N
-	تعداد مدارها	N_c
bar	فشار	P_b
Kpa	افت فشار هوا در عبور از کویل	Δp
Kg/m^3	دبی حجمی هوای استاندارد	Q_{astd}
$\text{C.m}^2/\text{W}$	مقاومت حرارتی کلی	R
mm	گام عمودی لوله‌ها	S_f

mm		گام افقی لوله ها	S_r
°C		دمای محیط	t
°C		اختلاف دما	Δt
$W/C.m^2$		ضریب انتقال حرارت کلی	U
m/s	=گذر حجمی هوای تصحیح شده نسبت به چگالی مبنا : چگالی مبنای هوا برابر است با		V_r
	$1/2 \text{ kg/m}^3$		
m/s		سرعت هوا در شرایط مبنا	v_r
m/s		سرعت متوسط آب	v_w
mm		عمق کویل	w
kg/kg هوای خشک		نسبت رطوبت	W
mm		شعاع داخلی پره دایره‌ای	X
mm		ضخامت فین	Y
kg . C/kJ		نرخ افزایش دما برای افت انتالپی	y

بخش 9- خواص مرجع و ضرایب تبدیل

9-1- خواص مرجع- خواص ترمودینامیکی آب و بخار باید از مرجع *AI.13* یا *AI.14* به دست آید. تمامی خواص دیگر باید از هندبوک *ASHRAE* به دست آیند.

9-2- ضرایب تبدیل متریک- برای ضرایب تبدیل از واحدهای اندازه گیری *I-P* به *SI* جدول 1 استاندارد 33 *ANSI/ASHRAE* و جدول 4 در این استاندارد را ببینید. (توجه داشته باشید که واحدهای درون [] در واحد *SI* هستند.)

بخش 10- اطلاعات پلاک

10-1- اطلاعات پلاک- پلاک حداقل باید نام تولید کننده را نشان داده و مشخصه هایی از قبیل نوع و مدل را مشخص کند.

بخش 11- شرایط مطابقت

11-1- مطابقت- در حالی که مطابقت با این استاندارد اختیاری است، مطابقت نباید برای محصولات یا تجهیزات درون هدف (بخش 1) و دامنه (بخش 2) ادعا شده یا اشاره گردد مگر اینکه چنین ادعاهایی تمامی ملزومات استاندارد را داشته باشند.

Table 4. Conversion Factors				
Item	I-P	SI	Conversion Unit Name	Conversion Factor I-P x Factor = SI
Dynamic Viscosity	lb/(h-ft)	mPa-s	millipascal second	0.41338
Heat Transfer Capacity	Btu/h	kW	kilowatt	0.00029307
Heat Transfer Coefficient	Btu/(h-ft ² -°F)	W/(m ² -°C)	watt per square meter degree Celsius	5.6783
Mass Flow Rate	lb/h	kg/s	kilogram per second	0.000126
Mass Velocity	lb/(h-ft ²)	kg/(m ² -s)	kilogram per square meter second	0.0013562
Pressure Drop Parameter	lb ² /(in ² -ft ⁴)	kPa-kg/m ⁴	kilopascal kilogram per meter ⁴	362.35
Thermal Conductivity	Btu-ft/(h-ft ² -°F)	W-mm/(m ² -°C)	watt millimeter per square meter degree Celsius	1730.7
Thermal Resistance	h-ft ² -°F/Btu	m ² -°C/W	square meter degree Celsius per watt	0.17611

$R_{aD} + R_{mD} = R_{aD} / \eta + R_m = \text{Combined Air Film and Metal Thermal Resistance for Dry Surface, } h \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{F} / \text{Btu}$

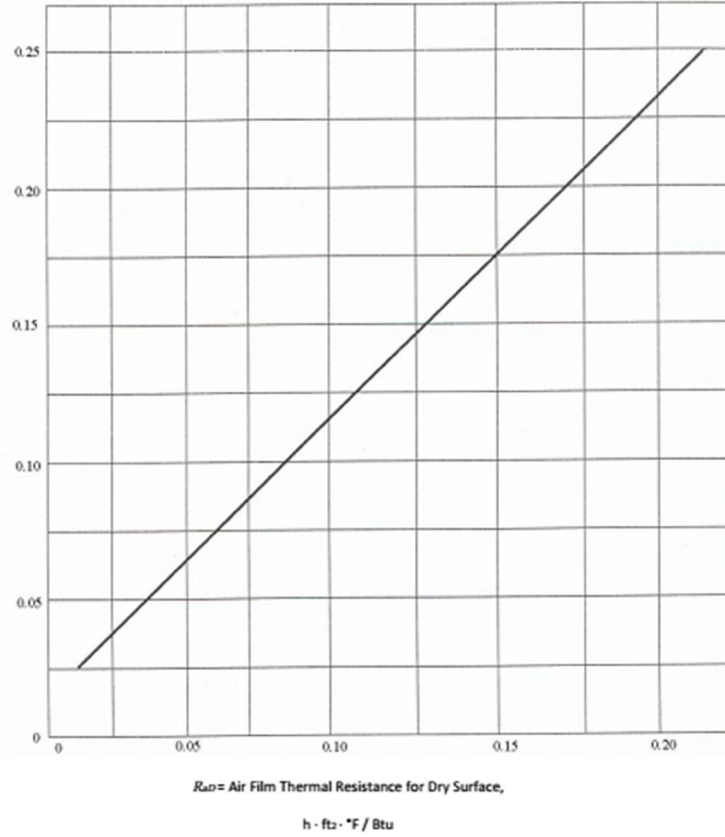


Figure 1.

Combined Air Film and Metal Thermal Resistance for Dry Surface

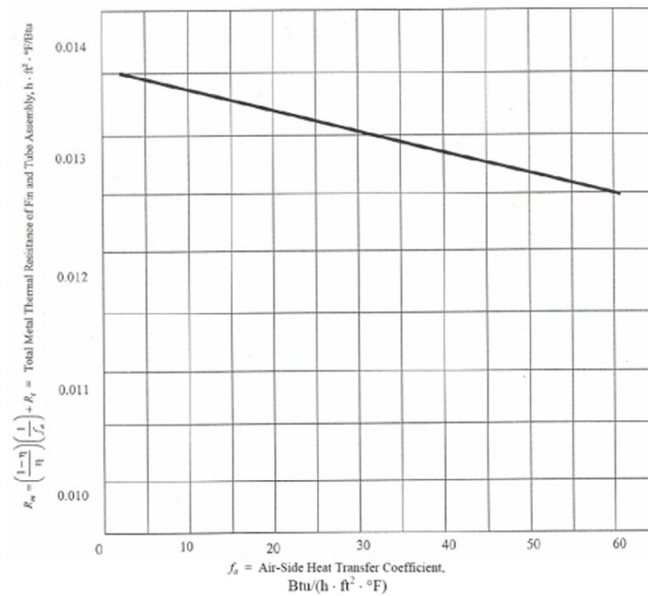


Figure 2. Total Metal Thermal Resistance of Fin and Tube Assembly Based on Total Surface Effectiveness
Illustrating performance factors as determined from laboratory tests

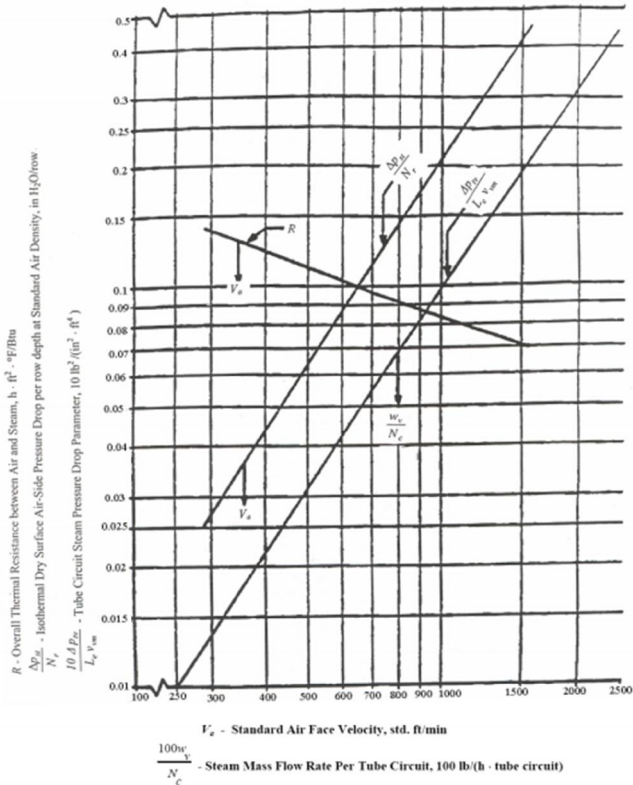


Figure 3. Rating Data for Steam Coils
 Illustrating performance factors as determined from laboratory tests

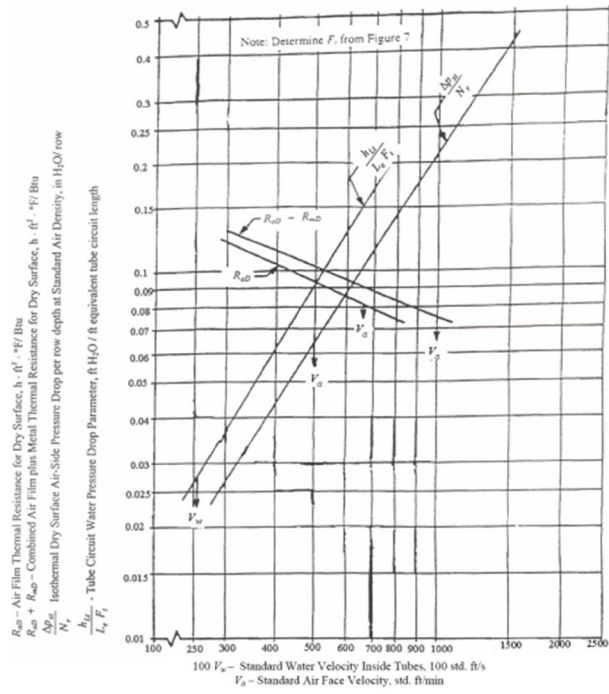


Figure 4. Rating Data for Hot or Cold Water Sensible Heat Coils
 Illustrating performance factors as determined from laboratory tests

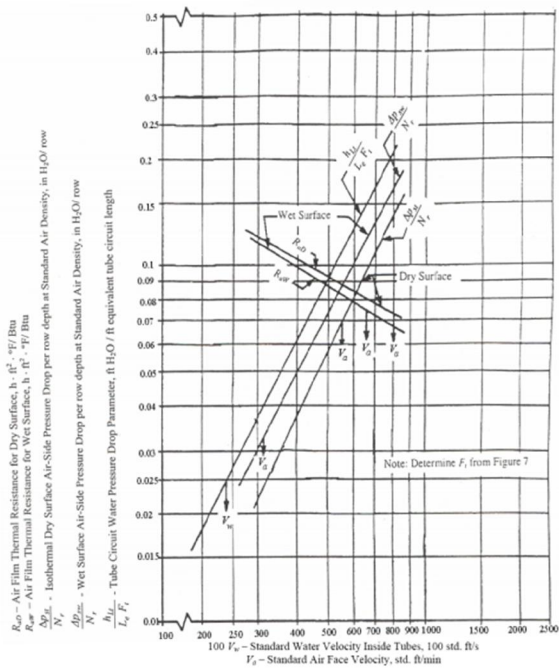


Figure 5. Rating Data for Cold Water Cooling and Dehumidifying Coils
 Illustrating performance factors as determined from laboratory tests.

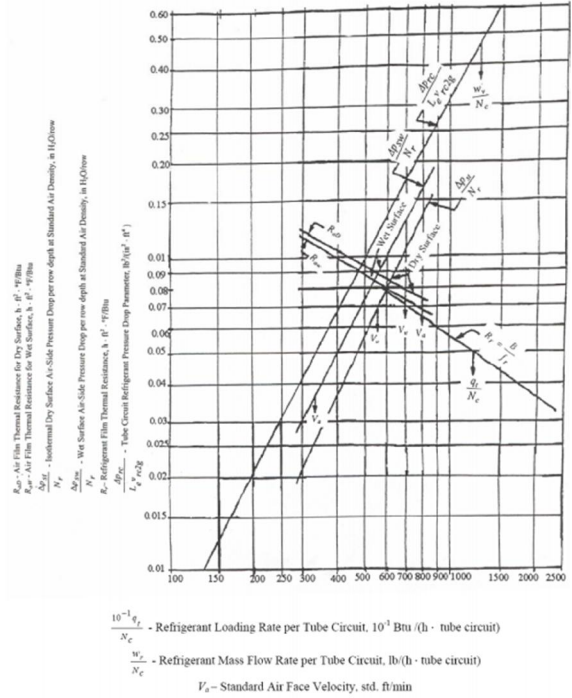


Figure 6. Rating Data for Volatile Refrigerant Cooling and Dehumidifying Coils
 Illustrating performance factors as determined from laboratory tests

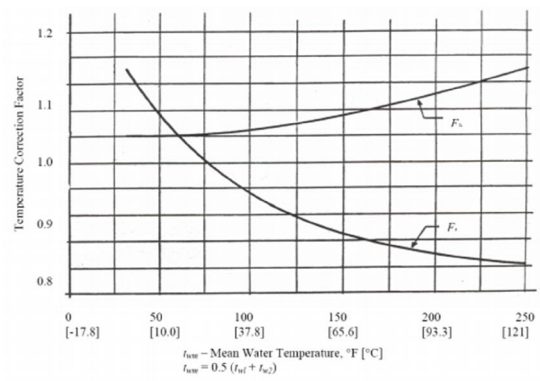


Figure 7. Temperature Correction Factor for Water Pressure Drop

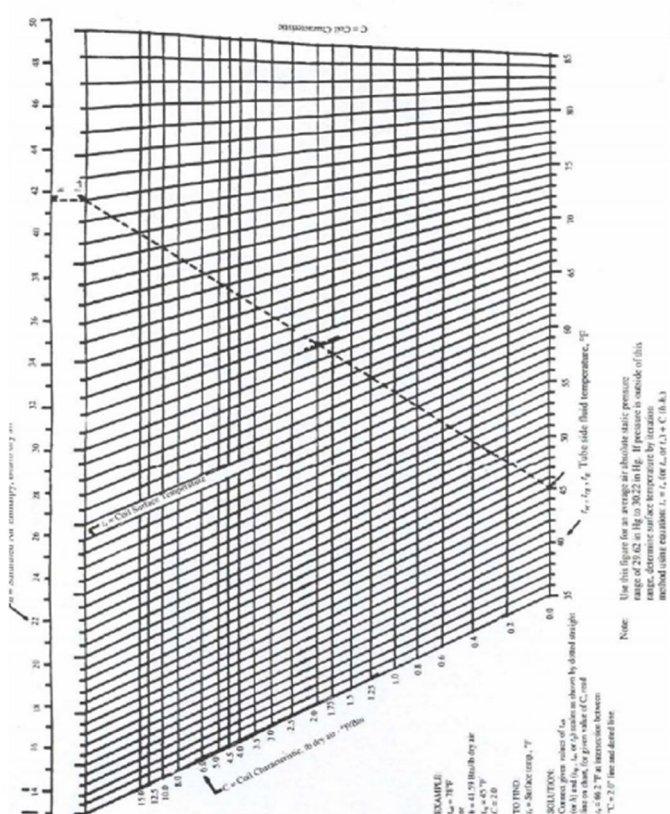


Figure 9. Surface Temperature Chart for Air Cooling and Dehumidifying Coil Application

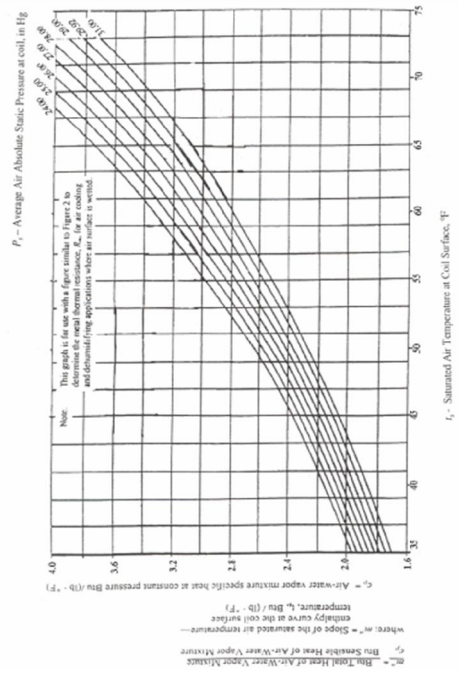


Figure 8. Air-Side Heat Transfer Coefficient Multiplier for Wet Surface

Nomenclature:

- ϕ - Fin efficiency
- x_2 - Fin root radius, in [mm]
- x_1 - Fin tip radius, in [mm]
- w - Fin height = $x_1 - x_2$, in [mm]
- Y_f - Fin thickness, in [mm]
- f_c - Film coefficient
- Bm (h · ft² · °F) [W/(m² · °C)]
- k_f - Fin material thermal conductivity
- Bu (h · ft² · °F) [W · mm/(m² · °C)]
- η - Surface effectiveness = $\frac{\phi A_1 + A_2}{A_0}$
- A_0 - Total external surface area, ft² [m²]
- A_1 - Primary surface area, ft² [m²]
- A_2 - Secondary surface area, ft² [m²]
- $f_c \eta$ - Effective film coefficient
- $Bu(f_c \eta)$ (h · ft² · °F) [W/(m² · °C)]

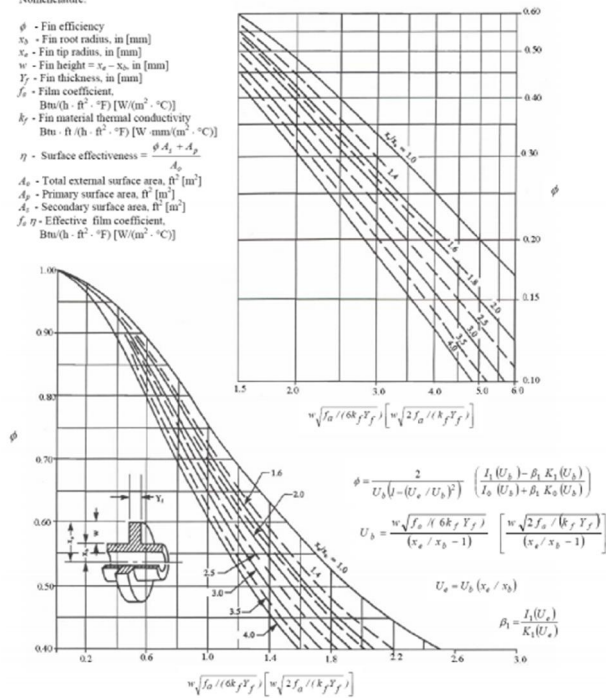


Figure 10. Efficiency of Annular Fins of Constant Thickness

Nomenclature:

- ϕ - Fin efficiency
- x_2 - Fin root radius, in [mm]
- x_1 - Fin tip radius, in [mm]
- w - Fin height = $x_1 - x_2$, in [mm]
- Y_f - Fin thickness at root, in [mm]
- f_c - Film coefficient
- Bm (h · ft² · °F) [W/(m² · °C)]
- k_f - Fin material thermal conductivity
- Bu (h · ft² · °F) [W · mm/(m² · °C)]
- η - Surface effectiveness = $\frac{\phi A_1 + A_2}{A_0}$
- A_0 - Total external surface area, ft² [m²]
- A_1 - Primary surface area, ft² [m²]
- A_2 - Secondary surface area, ft² [m²]
- $f_c \eta$ - Effective film coefficient

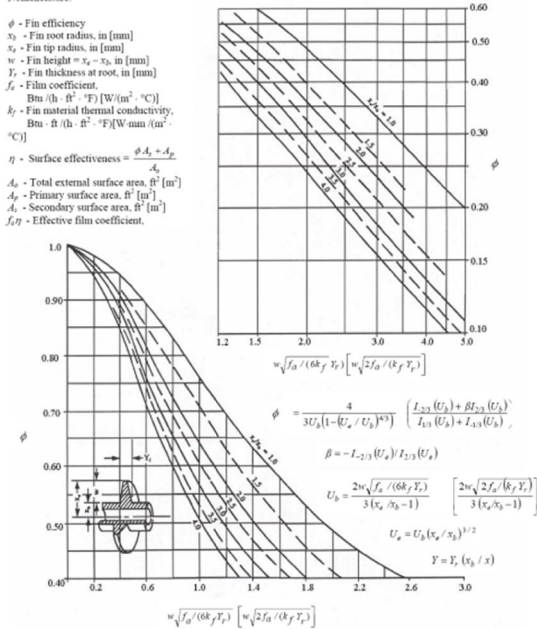


Figure 11. Efficiency of Annular Fins of Constant Area for Heat Flow and Spiral Fins

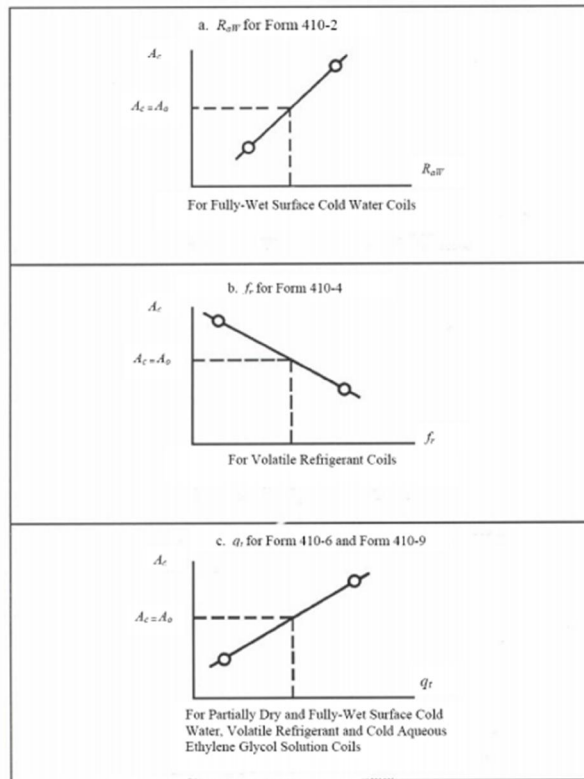


Figure 12. Determination of RaW, fr and qt

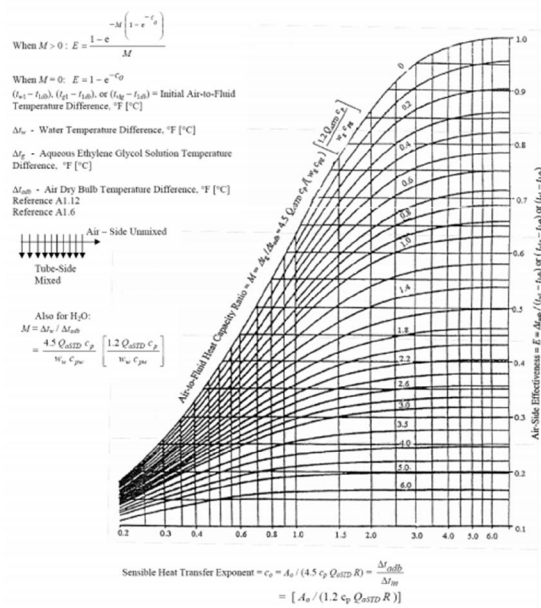


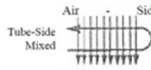
Figure 13. Crossflow Air-Side Effectiveness

Δt_w - Water Temperature Difference, °F [°C]
 Δt_g - Aqueous Ethylene Glycol Solution Temperature Difference, °F [°C]
 Δt_{db} - Air Dry-Bulb Temperature Difference, °F [°C]

When $M > 0$:

$$E = \frac{1}{M} \left(1 - \frac{e^{-M} (1 - e^{-c_p})}{\cosh(M) - e^{-(c_p/2)} + e^{(c_p/2)} \sinh(M) - e^{-(c_p/2)}} \right)$$

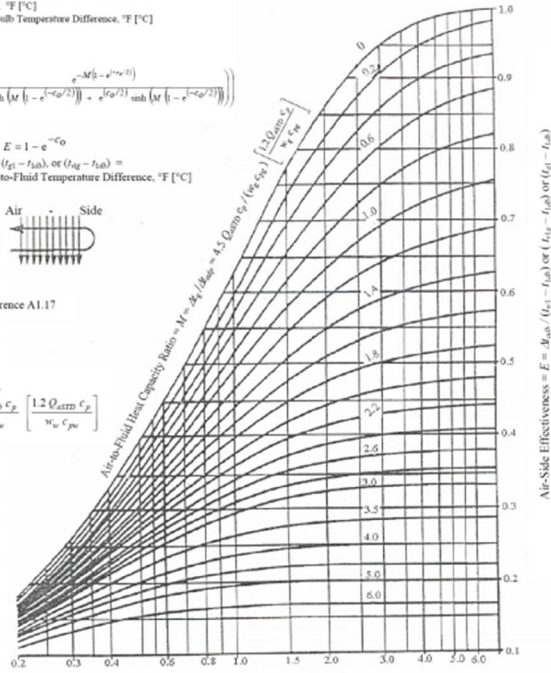
When $M = 0$: $E = 1 - e^{-c_p}$
 $(t_{s1} - t_{s2}), (t_{g1} - t_{g2}),$ or $(t_{a1} - t_{a2}) =$
 Initial Air-to-Fluid Temperature Difference, °F [°C]



Reference A1.17

Also for H₂O:

$$M = \frac{\Delta t_w}{\Delta t_{db}} = \frac{4.5 Q_{air} c_p}{w_w c_{pw}} \left[\frac{1.2 Q_{air} c_p}{w_w c_{pw}} \right]$$



$$\text{Sensible Heat Transfer Exponent} = c_p = A_s / (4.5 c_p Q_{air} R) = \frac{\Delta t_{db}}{\Delta t_w}$$

$$= [A_s / (1.2 c_p Q_{air} R)]$$

Figure 14. Cross-Counterflow Air-Side Effectiveness

When $M = 1$: $E = \frac{1 - e^{-c_p} (1 - M)}{1 - M e^{-c_p} (1 - M)}$

When $M = 1$: $E = \frac{c_p}{c_p + 1}$

$(t_{s1} - t_{s2}), (t_{g1} - t_{g2}),$ or $(t_{a1} - t_{a2}) =$ Initial Air-to-Fluid Temperature Difference, °F [°C]

Δt_w - Water Temperature Difference, °F [°C]

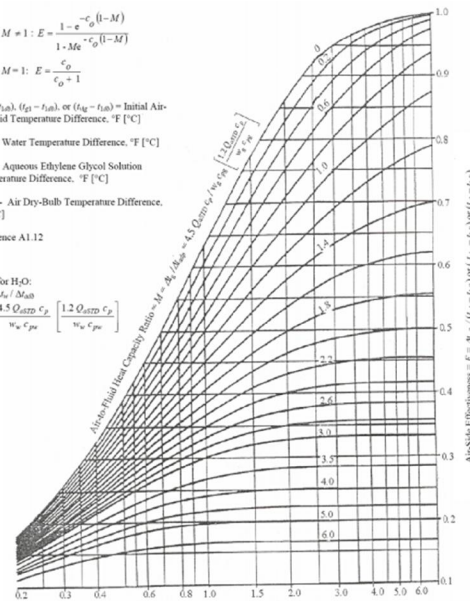
Δt_g - Aqueous Ethylene Glycol Solution Temperature Difference, °F [°C]

Δt_{db} - Air Dry-Bulb Temperature Difference, °F [°C]

Reference A1.12

Also for H₂O:

$$M = \frac{\Delta t_w}{\Delta t_{db}} = \frac{4.5 Q_{air} c_p}{w_w c_{pw}} \left[\frac{1.2 Q_{air} c_p}{w_w c_{pw}} \right]$$



$$\text{Sensible Heat Transfer Exponent} = c_p = A_s / (4.5 c_p Q_{air} R) = \frac{\Delta t_{db}}{\Delta t_w}$$

$$= [A_s / (1.2 c_p Q_{air} R)]$$

Figure 15. Counterflow Air-Side Effectiveness

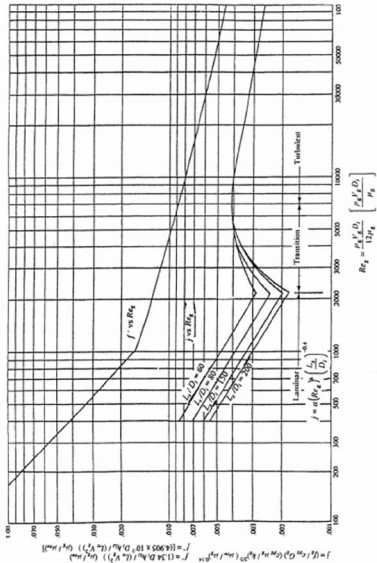


Figure 16. Aqueous Ethylene Glycol Solution Performance for Smooth Internal Wall Tube Coils
Illustrating performance factors as calculated

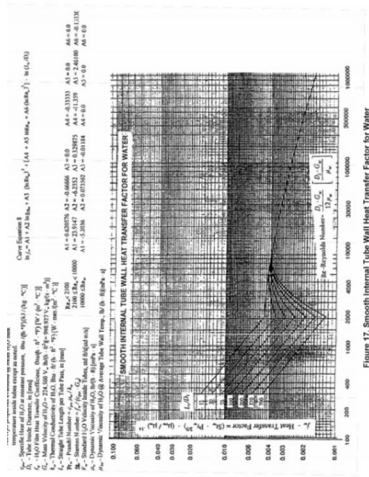


Figure 17. Smooth Internal Tube Wall Heat Transfer Factor for Water