Archive of SID

مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC
www.Mobadel.ir

مدل‌سازی و مطالعه انتقال حرارت در کویل‌های تهویه مطبوع در اثر تغییرات جریان هوا و آب

علی زارعی: واحد بهره برداری پالایشگاه چهارم مجتمع گاز پارس جنوبی
محمد جعفرزاده قدیمی: شرکت ژابیز صنعت صبا
محمد انصاری: شرکت ژابیز صنعت صبا

چکیده

مبدل‌های حرارتی لوله و صفحه (Tube and Plate) و یا کویل در کاربردهای تهویه مطبوع استفاده بسیار دارند. بهبود مشخصات انتقال حرارتی و مکانیکی این نوع مبدل‌های حرارتی می‌تواند باعث بالاتر رفتن راندمان و کاهش مصرف انرژی در مجموعه چرخه تبرید شود و علاوه بر آن هزینه‌های اولیه مربوط به ساخت و راه‌اندازی و همینطور هزینه‌های مربوط به ابعاد دستگاه را کاهش دهد.

تا به امروز مطالعه مشخصات انتقال حرارتی و مکانیکی مبدل‌های صفحه و لوله غالبا توسط روش‌های تجربی و شبه تجربی انجام میگیرد و روابط محدود موجود بر اساس داده‌های تجربی بنا شده‌اند. در بیشتر موارد بهبود انتقال حرارت باعث افزایش افت فشار به طور همزمان می‌شود، در نتیجه برای دستیابی به طراحی بهینه، علاوه بر سایر محدودیت‌ها، باید تعادلی بین این دو برقرار شود، که هدف آسانی نیست. در نتیجه بهینه‌سازی مبدل‌های صفحه و لوله با کمک آزمایشات تجربی صورت می‌پذیرد و محدوده پارامترهای ساخت این نوع مبدلها در محدوده کوچکی تغییر می‌کند. در این بررسی به شبیه‌سازی کلی مبدل حرارتی و تاثیر پارامترهای هندسی بر عملکرد مبدل می‌پردازیم. برای مقایسه شبیه‌سازی با مبدل واقعی، نتایج شبیه‌سازی را با نتایج اندازه‌گیری‌های تجربی مبدل حرارتی صفحه و لوله ساخت شرکت کریر [۱] مورد مقایسه قرار داده‌ایم.

واژگان کلیدی: مبدل صفحه و لوله، انتقال حرارت، کویل، تهویه مطبوع

www.Mobadel.ir
www.SID.ir

Archive of SID

مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC
www.Mobadel.ir

مقدمه

مبدل‌های حرارتی هوایی برای انتقال حرارت مستقیم از سیال به هوای آزاد مورد استفاده قرار می‌گیرند. اولین مزیتی که می‌توان بیان کرد عدم نیاز این نوع مبدلها به آب است. در نتیجه نیازی به تصفیه آب تغذیه و تخلیه آب خروجی نخواهیم داشت. در کاربردهای تهویه مطبوع و تبرید استفاده از این مبدلها تا سقف ده تن تبرید معمول است اما در مناطقی که شیوه‌های دیگر (برج خنک‌کن و تبخیری) قابل کاربرد نباشند تا سقف ۱۰۰ تن تبرید نیز قابل کاربرد است تقسیم‌بندی‌های مختلفی برای انواع مبدل‌های هوایی وجود دارد، از جمله می‌توان به تقسیم مبدل‌ها به دو نوع جابه‌جایی طبیعی و جابه‌جایی اجباری اشاره نمود.

در مبدل‌های براساس جابه‌جایی طبیعی انتقال حرارت به کمک نیروی غوطه‌وری صورت می‌پذیرد. این نوع مبدلها را می‌توان در کندانسور پشت یخچال‌های خانگی مشاهده نمود. مبدل‌های جابه‌جایی اجباری برای جابه‌جایی هوا از یک پروانه استفاده می‌کنند. دو نوع متداول جابه‌جایی اجباری و جابه‌جایی القایی هستند. هر کدام از این دو نوع برای کاربردها و شرایط خاص مزایا و معایبی دارند.

جدول ۱ مبدل جابه‌جایی اجباری

مزایا	معایب
توان مصرفی کمتر	توزیع هوا در سطح کویل یکنواخت نیست
دسترسی راحت به مجموعه پروانه و یاتاقان	احتمال گردش هوا زیاد است
دسترسی راحت به مجموعه لوله ها برای تعویض	در صورت خرابی پروانه جابه جایی طبیعی پایین است
دمای ورودی بالا در ورودی ممکن است	کویل ها در مجاورت باران و نور خورشید هستند.

جدول ۲ مبدل جابه‌جایی القایی

مزایا	معایب
توزیع یکنواخت هوا در سطح کویل.	توان مصرفی بالاتر به خاطر وجود پروانه در خروجی.
احتمال گردش هوای گرم کم است.	اجزای مکانیکی در دمای بالاتری قرار دارند.
کنترل بهتر فرایند زیرا پلنیوم سطح کویل را پوشانده است.	مجموعه پروانه برای تعمیرات در دسترس نیست.
در هنگام خاموش بودن پروانه جابه جایی طبیعی بالا است.	برای تعویض مجموعه لوله ها باید پلنیوم را باز کرد.

در ارتباط با حوزه تهویه مطبوع، کویل یک مبدل حرارتی است. سیال گرم کننده یا خنک کننده از روی کویل عبور میکند، بسته به تفاوت نسبی دما بین سیال و هوای عبوری، به ترتیب گرما را از جریان هوای عبوری دفع و یا جذب می‌کند. اجزای یک مبدل حرارتی شامل لوله‌ها، پره‌ها، هدر، نازلها و محفظه‌ای که کویل را در بر می‌گیرد.

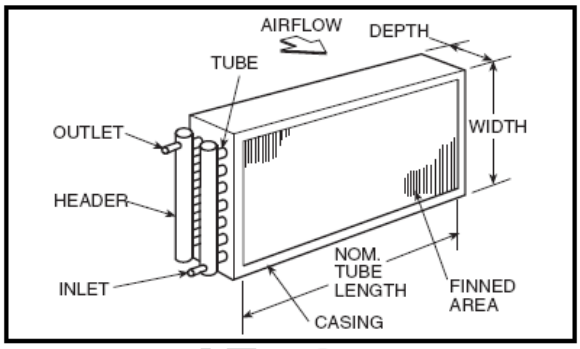
لوله‌ها مسیر عبور سیال گرم کننده یا خنک کننده هستند. لوله‌های مورد استفاده در کویل‌ها قطر کمی دارند. جنس لوله‌ها به طور معمول از جنس مس است اما لوله‌ها با جنس متفاوت نیز وجود دارند، به عنوان نمونه برای مبرد آمونیاکی از جنس لوله‌های فولادی استفاده می‌شود. برای اتصال لوله‌ها از یک تکه لوله U شکل استفاده می‌شود که با لحیم یا جوش به لوله‌های دیگر متصل می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC
www.Mobadel.ir

تقریبا در تمام موارد تبرید و تهویه مطبوع از لوله‌های با مقطع دایره‌ای استفاده می‌شود، تنها استثنا قابل توجه صنعت خودرو که از لوله‌های با مقطع بیضی استفاده می‌شود. لوله‌ها می‌توانند به دو شکل چیده شوند، چیدمان منظم و چیدمان نامنظم. چیدمان نامنظم بیشتر مورد استفاده است و در مورد کویلها بیشتر آرایش مثلثی مورد استفاده قرار می‌گیرد. لوله‌های تا اندازه 1 در کویل‌های تهویه و تبرید مورد استفاده قرار می‌گیرند. پره یا فین صفحه فلزی نازکی است که به لوله متصل می‌شود تا کارایی انتقال حرارت از سیال به جریان هوا را افزایش دهد. جنس فینها معمولا از آلومینیوم یا مس است. تعداد فینها در واحد طول معمولا با واحد فین بر اینچ مشخص می‌شود. مقادیر معمول تعداد پره‌ها بین ۴ تا ۱۸ فین بر اینچ است. هرچه امکان یخزدگی و گرفتگی کانال‌های کویل بیشتر باشد، بهتر است تعداد فین بر اینچ کاسته شود (کمتر از ۱۰). عوامل مهم دیگری که بر انتخاب تعداد پره‌ها تاثیر دارند، یکی نرخ انتقال حرارت است و دیگری افت فشار سمت هوا. ضخامت پره‌ها نیز در عملکرد حرارتی و مکانیکی کویل دارای اهمیت است. هرچه پره نازک‌تر باشد، سطح آزاد کویل بیشتر و در نتیجه سرعت هوا پایین‌تر می‌آید که کاهش نرخ انتقال حرارت و کاهش افت فشار را در پی دارد. باید توجه داشت که هرچه پره نازک‌تر شود، مقاومت اتصال لوله و پره بالاتر می‌شود و انتقال حرارت اتصال نیز کاهش می‌یابد، ضخامت پره متداول بین ۰/۰۰۴ تا ۰/۰۱۷ اینچ است.



شکل ۱ تعریفهای مربوط به یک نمونه کویل [۲]

هدر لوله‌ای با قطر زیاد است که چند لوله کوچک به آن متصل هستند. وظیفه آن تقسیم سیال گرم کننده/ خنک کننده به سایر لوله-ها است. هدرها به طور معمول از نوع فلزات غیر آهنی و یا از جنس استیل هستند.

سازه فلزی که مجموعه لولها و هدر را شامل می‌شود. در حالت کلی از جنس آهن گالوانیزه ساخته می‌شود ولی ممکن است از سایر مواد، مانند استنلس استیل، نیز در ساختن آن استفاده شود.

نازلها لوله‌هایی هستند که به هدر متصل می‌شوند تا سیال گرم کننده/ خنک کننده به کویل وارد یا از آن خارج شوند.

در کویل‌های آبی، لوله تغذیه ورودی در سمتی از کویل قرار می‌گیرد که هوا از کویل خارج می‌شود. لوله خروجی در سمتی قرار می-گیرد که هوا وارد کویل می‌شود چنین حالتی را حالت جریان متقابل[1] می‌گوییم. در کویل‌های بخار، ورودی همواره در قسمت بالایی بدنه قرار دارد تا مایع چگالیده از قسمت پایین بدنه تخلیه شود.

سطح موثر کویل براساس حاصلضرب عرض در طول سطح فین‌دار کویل که جریان هوا از آن عبور می‌کند تعریف می‌شود. سطح فین-دار شامل ابعاد اضافی مربوط به محفظه خارجی نمی‌شود. سرعت جریان هوا، معمولا برحسب fpm، عبوری از سطح فین‌دار کویل را سرعت پیشانی می‌نامیم. مقدار عددی آن از تقسیم حجم هوای عبوری، معمولا برحسب cfm، برسطح پیشانی کویل، معمولا برحسب فوت مربع، به دست می‌آید.

[1] Counter Flow

www.SID.ir

Archive of SID

مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC
www.Mobadel.ir

$$\text{سرعت پیشانی (fpm)} = \frac{\text{حجم هوا (cfm)}}{\text{سطح پیشانی (sq ft)}} \qquad (۱)$$

اولین قدم در انتخاب اندازه یک دستگاه هواساز تعیین حداکثر مقدار مجاز سرعت پیشانی است. مقدار حداکثر سرعت با توجه به محدودیت‌های ذیل تعیین می‌گردد:

۱. عدم انتقال رطوبت به داخل کانال‌های تهویه (تنها در مورد کویل‌های سرمایش).
۲. افت فشار هوا در عبور از داخل کویل.
۳. کارامدی انتقال حرارت.

حداکثر سرعت مجاز برای جلوگیری از انتقال رطوبت به داخل کانال تهویه به جنس کویل، فاصله بین فینها، مقدار رطوبت موجود در کویل و هندسه فضای بین کویل و پروانه ورودی یا کانال تهویه بستگی دارد. از آنجا که مقدار رطوبت و همینطور هندسه فضای کویل و کانال متغیر هستند (به عنوان مثال در دستگاه‌های افقی، مکش و یا دهشی)، باید در تعیین حداکثر سرعت مجاز این موارد را در نظر داشته باشیم. انرژی مصرفی پروانه نیز وابسته به سرعت پیشانی است، مقاومت هوا تقریبا متناسب با مربع سرعت پیشانی است. بنا بر دلایل فوق، حداکثر سرعت پیشانی به طور معمول محافظه کارانه (پایین‌تر) تعیین می‌شود. سرعت‌های پیشانی طراحی در جدول ۳ پیشنهاد داده شده‌اند. در کاربردهای حجم هوای متغیر، دستگاه در بیشتر اوقات حجم هوای پایین‌تر از حالت پیک دارد. در چنین حالتی سرعت پیشانی از طرف بالاتر محدوده مجاز انتخاب می‌شود.

جدول ۳ محدوده سرعت هوا

نوع کویل	محدوده سرعت پیشانی
سرمایش	400 ~ 550 fpm
گرمایش	400 ~ 800 fpm

تعداد لوله در هر ردیف عددی است که تعداد لولها در هریک از ردیف‌های لوله را نشان می‌دهد. برای محاسبه آن باید تعداد لوله‌ها را در سطحی که باد به آن می‌وزد شمارش کرد. به همین ترتیب تعداد ردیف هم در جهت عمود بر جهت شمارش تعداد لوله‌های سطح شمارش می‌شود. کویل‌های سرمایش به طور معمول در انواع ۴، ۶، ۸ و ۱۰ ردیفه موجود هستند. بهتر است لوله‌ها قطر خارجی برابر نیم اینچ داشته باشند تا انتقال حرارت در جریان سیال کم افزایش پیدا کند. کویلها باید برای کارایی حداکثر از سیال طراحی شوند. برای سیال آب تفاوت دما 12 تا 16 درجه فارنهایت به طور معمول استفاده می‌شوند و نقاط بهینه طراحی را ارائه می‌دهند.

مسیر یا پاس قسمتی از مدار است که سیال فقط یکبار از جریان هوا عبور می‌کند، یعنی تعداد پاس، تعداد دفعاتی است که سیال از ابتدا تا انتهای مبدل حرکت می‌کند. مدار به تعدادی از ردیف‌ها (یا قسمتی از ردیفها) اشاره می‌کند که توسط یک پاس تغذیه می‌شوند. به عنوان مثال در یک مبدل ۴/۴ یعنی چهار ردیف و چهار پاس سیال از تمام ردیفها می‌گذرد و مدار کامل را طی می‌کند. در مبدل ۴/۸ با چهار دریف و هشت پاس سیال در نصف هر ردیف رو به جلو حرکت می‌کند و در نصف دیگر همان ردیف به عقب باز می‌گردد که یک مدار نیمه است. حال اگر مبدلی ۴/۲ داشته باشیم یک مدار دوگانه خواهیم داشت.

برای محاسبه تعداد مدارها و مسیرها، تعداد لوله‌هایی را که توسط هدر ورودی تغذیه می‌شوند بشمارید، تعداد لوله‌ها در هر ردیف را بر آن تقسیم نمایید، عدد حاصل را بر تعداد ردیفها تقسیم کنید، نزدیکترین عدد صحیح تعداد مسیرها است. مداربندی نیز از تقسیم تعداد ردیفها بر تعداد مسیرها مشخص می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC
www.Mobadel.ir

مروری بر مقالات

داده‌ها و روابط مورد نیاز برای بررسی و طراحی مبدل‌های فشرده بسیار محدود و منحصر به تعدادی روابط تجربی برای موارد مشخص است، حتی تا به امروز معادلات پایه انتقال حرارت و افت فشار که جامع و مقبول باشد در دست نیست. شاید بتوان نقطه شروع تحقیقات مربوط به مبدل‌های فشرده را به "کی و لاندن" نسبت داد که به بررسی تجربی این مبدلها پرداختند و در سال ۱۹۶۰ کتاب مبدل‌های حرارتی فشرده را چاپ نمودند که تا به اکنون معتبرترین مرجع در این زمینه است [۳]. آنها با مطالعه تعدادی از انواع مبدلها داده‌های مربوط به انتقال حرارت و افت فشار آنها را به شکل نیمه تجربی بیان نمودند. البته سابقه تحقیقات در این زمینه به قبل از این تاریخ بر می‌گردد. "کولبورن" در ۱۹۳۰ به بررسی انتقال حرارت جریان عبوری از دسته لوله‌ها پرداخت. زوکاسکاس و اولینکاس به بیان روابط انتقال حرارت و افت فشار در تکمیل کار کولبورن پرداختند که معتبرترین مرجع چنین مسائلی است. در مطالعه چگالش و جوشش نیز "شاه" به ارائه روابط مربوط به خصوص با توجه به مبردها پرداخت. در سال‌های اخیر نیز "شلتون" و همکاران به بررسی گسترده کویلها پرداخته‌اند [۴].

بررسی انتقال حرارت

محاسبات انتقال حرارت، حتی در ساده‌ترین هندسه‌ها و شرایط مشخص همواره با مقداری عدم قطعیت همراه هستند. در مورد کویلها به علت پیچیدگی هندسه و ناپایداری عوامل موثر بر انتقال حرارت این موضوع نمایان‌تر می‌شود.

به منظور بررسی انتقال حرارت از کویل ابتدا به بررسی مکانیزم‌های انتقال حرارت پرداخته‌ایم، با محاسبات مقدماتی مشخص شد که انتقال حرارت جابه‌جایی در داخل لوله و خارج لوله عوامل موثر هستند و سایر عوامل قابل صرف‌نظر هستند. در ادامه مشخصات فیزیکی و ترمودینامیکی سیالات در دمای فیلم در هر طرف کویل تعیین شد. سپس با استفاده از روش کارایی مبدل به بررسی نرخ انتقال حرارت در کویل پرداختیم. در نهایت نتایج را با داده‌های تجربی مربوط به دستگاه فن کویل ساخت شرکت کریر[1] مقایسه نمودیم. مقاومت دیواره لوله که معمولا از جنس مس است و چند مرتبه اهمیت کمتر از مقاومت جابه‌جایی در طرفین لوله است. سیستمهای تبرید بسته هستند و به طور معمول انتظار آلودگی در داخل مجموعه تبرید وجود ندارد. از طرف دیگر آلودگی سمت هوا چندان قابل توجه نیست. در نتیجه از اثرات رسوب[2] نیز صرف نظر نموده‌ایم. با توجه به این موارد رابطه ۲ روش محاسبه ضریب کلی انتقال حرارت کویل را ارائه می‌کند.

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{\eta \bar{h}_a A_a} + \frac{1}{\bar{h}_r A_r} \qquad (۲)$$

η کارامدی سطح سمت هوا، $\bar{h}$ میانگین ضریب انتقال حرارت سمت لوله و سمت هوا و A سطح انتقال حرارت است. برای محاسبه کارمدی سطح از آنجا که محاسبه رابطه برای شکل مستطیلی پره (فین) ساده نیست از مفهوم شعاع معادل استفاده می‌کنیم. به این معنی که با استفاده از گام‌های طولی و عرضی لوله‌ها مقداری از پره که مربوط به هر لوله می‌شود را به صورت دایره معادل تصور می-

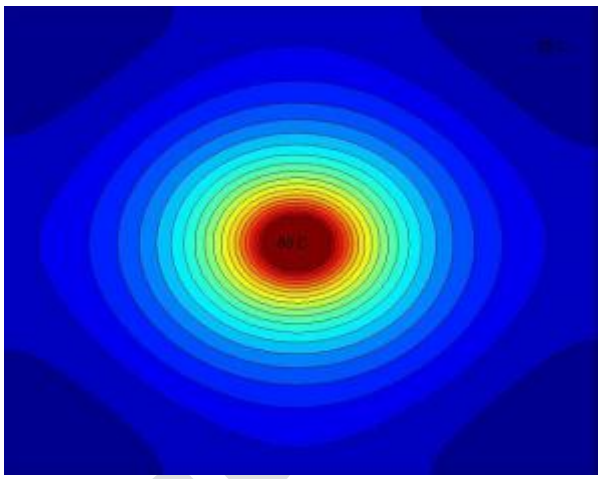
[1] Carrier Company
[2] Fouling

www.SID.ir

Archive of SID

مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC
www.Mobadel.ir

نماییم . در شکل ۲ کانتورهای دمای یک لوله و پره ارائه شده است، دمای لوله ۶۰ درجه سانتی‌گراد و ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی $h = 50\ \frac{w}{K.m^2}$ در نظر گرفته شده است.



شکل ۲ . کانتورهای دما در اطراف یک لوله و پره

محاسبه ضریب انتقال حرارت سمت هوا مهمترین مساله در بررسی انتقال حرارت کویل است. انتقال حرارت جابه‌جایی سمت هوا بیشترین مقاومت را در راه انتقال حرارت ایجاد می‌کند و در عین حال بیشترین عدم قطعیت در بررسی انتقال حرارت کویل در محاسبه ضریب انتقال حرارت سمت هوا وجود دارد. به دلیل کوچک بودن قطر هیدرولیکی معادل در کویلها لایه‌های بین دو پره بر یکدیگر تاثیر گذارند و به همین دلیل روابط مربوط به صفحات تخت قابل کاربرد نیستند. فین‌های تخت سالهاست که مورد استفاده هستند، اما برای سایر انواع فینها رابطه قابل اعتماد کلی وجود ندارد. پس به عنوان معیار می‌توان به مقادیر حاصل از روابط فین‌های تخت اعتماد نمود. ضریب انتقال حرارت در مبدل‌های حرارتی فشرده معمولا توسط ضریب j کولبورن بیان می‌شود [۵].

$$j = \frac{h}{G c_p} Pr^{2/3} \qquad (۳)$$

در مورد فینهای موجی و زاویه‌دار، دو عامل باعث افزایش نرخ انتقال حرارت می‌شود، اول افزایش سطح موثر سمت هوا و دوم جلوگیری از جدایش لایه مرزی و بهبود مقدار ضریب انتقال حرارت. کویل مورد مقایسه از نوع فین‌های موجی است، رابطه‌ای که برای فین‌های موجی مورد استفاده قرار گرفت عبارت است از

$$j = 0.4Re^{-0.4}\left(\frac{2b}{\Lambda}\right)^{0.75}, 600 < Re < 3000 \qquad (۴)$$

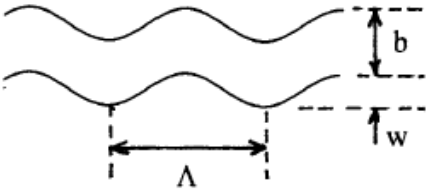
$$j = 0.4Re^{-0.36}\left(\frac{2b}{\Lambda}\right)^{1.5}, 10^4 < Re < 10^5 \qquad (۵)$$

رابطه فوق توسط "کی و لاندن" ارائه و با استفاده از داده‌های "اویاکاوا و شینزاتو" اصلاح گردید. پارامترهای فین طبق شکل ۳ تعریف می‌شوند [۶] .

www.SID.ir

Archive of SID

مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC
www.Mobadel.ir



شکل ۳ پارامترهای فین موجی

به منظور محاسبه ضریب انتقال حرارت سمت لوله در حالت آشفته بدون تغییر فاز از رابطه معتبر دیتوس بولتر اصلاح شده استفاده نمودیم (رابطه ۶):

$$h_i = 0.023 \frac{k}{d} Re^{0.8} Pr^{\frac{1}{3}} (\mu/\mu_w)^{0.14} \quad (۶)$$

مقادیر فوق در دمای فیلم محاسبه شده‌اند. K ضریب هدایت حرارتی سیال، d قطر داخلی لوله، Re عدد رینولدز، Pr عدد پرنتل، μ لزجت سیال در دمای فیلم و μ_w لزجت سیال در دمای دیواره لوله است. برای جریان لایه‌ای هم در داخل کانال لوله‌ای از $nu = 4.36$ استفاده نموده‌ایم. البته در جریان انتقالی بین عدد رینولدز ۲۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ می‌شود از فرمول انتقالی استفاده نمود. که در اینجا به دو علت از آن استفاده نکردیم اول اینکه جریان در حالت معمول در حالت آشفته است و دلیل دوم اینکه با تغییر بسیار کم دبی آب تفاوت زیادی در مقدار انتقال حرارت ایجاد می‌شود که باعث بروز خطا خواهد شد. برای ارزیابی کارایی مبدل دو روش عمده وجود دارد، روش میانگین لگاریتمی اختلاف دما[1] و روش $\varepsilon - NTU$، از آنجا که دمای هوای خروجی در دست نیست، در تهویه مطبوع روش دوم کاربرد بیشتری دارد، که در این تحقیق نیز از آن استفاده نموده‌ایم. پس از محاسبه مقدار UA می‌توان نرخ واقعی انتقال حرارت را محاسبه نمود [۷]:

$$Q = \varepsilon (\dot{m} c_p)_{min} (T_{h1} - T_{c1}) \quad (۷)$$

بحث و نتیجه‌گیری

مقایسه بین نتایج حاصل از برنامه و اطلاعات شرکت کریر برای فن‌کویل 42N50 انجام شد در دبی‌های مختلف از ۰ تا ۱ لیتر بر ثانیه، که مشخصات هندسی فن‌کویل مورد بررسی عبارتند:

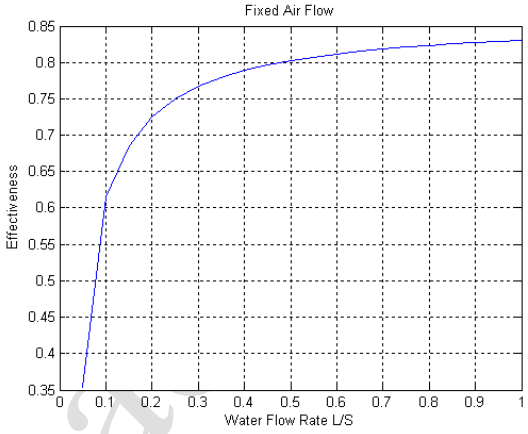
[1] LMTD

www.SID.ir

Archive of SID

مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC
www.Mobadel.ir

از تعداد ردیف : ۳، تعداد مدار : ۳، سطح پیشانی ۲/۲۴ فوت مربع، طول لوله ۸۰۰ میلی‌متر، تعداد لوله در هر ردیف : ۸، قطر لوله ۹/۶ میلی‌متر، ضخامت فین ۰/۱۵ میلی‌متر، گام در سطح ردیف ۲۵/۴ میلی‌متر، گام عمود بر جهت وزش ۲۲/۵ میلی‌متر، فین بر اینچ : ۱۴محدوده کاری استاندارد فن‌کویل مورد نظر از نظر دبی و دما عبارت است از: دمای آب ورودی ۴۰ تا ۹۰ درجه سانتی‌گراد، دمای هوا ۲۰ درجه سانتی‌گراد، دبی هوا ۲۴۲ لیتر بر ثانیه، دبی آب از ۰ تا ۱ لیتر بر ثانیه.



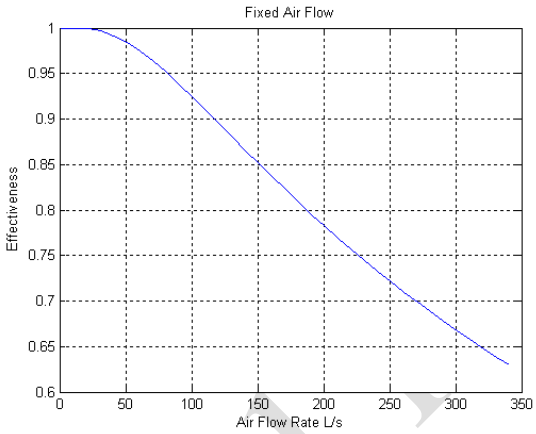
شکل ۴ تغییرات کارامدی حرارتی مبدل با تغییرات دبی آب در دبی هوا ثابت

بیشترین نرخ انتقال حرارت ممکن عبارت است از حاصل‌ضرب کمترین ظرفیت حرارتی در بیشترین اختلاف دما در مبدل، ظرفیت حرارتی برابر است با دبی جرمی سیال در ضریب گرمای ویژه به عبارت دیگر مقدار حرارتی که سیال در اختلاف یک درجه می‌تواند انتقال دهد. در شکل ۴ تغییرات کارامدی حرارتی با تغییرات دبی آب در دبی هوا ثابت و برابر ۲۲۴ لیتر بر ثانیه ارائه شده است. در شکل ۵ نیز تغییرات کارامدی حرارتی با تغییرات دبی هوا در دبی آب ثابت ۰/۲۱ لیتر بر ثانیه ارائه شده است. طراحی بهینه مبدل حرارتی، در اینجا کویل، با در نظر گرفتن تعادل بین نرخ انتقال حرارت و مقدار افت فشار انجام می‌پذیرد. علاوه بر این معیار اصلی ممکن است محدودیت‌های دیگری نیز بر طراحی تحمیل شوند، مانند صدای تولید شده توسط پروانه‌ها، عدم انتقال رطوبت و محدودیت در ابعاد کویل. ابعاد کویل در اینجا ثابت است، حداکثر مقدار دبی هوا برای گرمایش و طبق جدول ۱ انتخاب می‌شود و دبی آب نیز بر اساس اطلاعات تجربی موجود از ۰/۰۳ تا یک لیتر بر ثانیه مورد بررسی قرار گرفت.

www.SID.ir

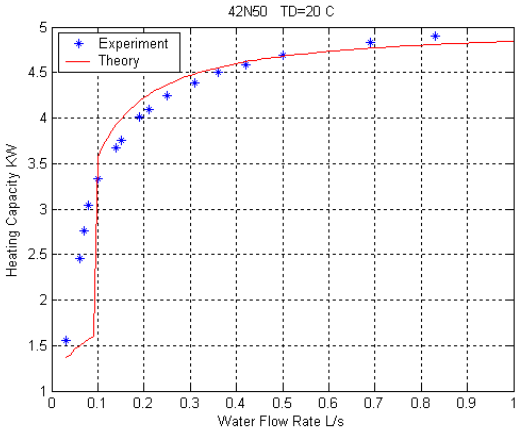
Archive of SID

مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC
www.Mobadel.ir



شکل ۵ تغییرات کارامدی حرارتی مبدل با تغییرات دبی هوا در دبی آب ثابت

نتایج حاصل از محاسبات و نتایج اندازه‌گیری تجربی در اختلاف دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد در شکل ۶ ارائه شده است. تطابق بسیار خوبی بین نتایج محاسبات و نتایج اندازه‌گیری وجود دارد. شکل کلی منحنی ظرفیت حرارتی که شبیه به تابع نمایی است، به خوبی تاثیر کارامدی مبدل را نشان می‌دهد. در شکل ۶ دبی آب متغیر است و دبی هوا ثابت و برابر ۲۲۴ لیتر بر ثانیه است در شکل ۷ نیز ظرفیت حرارتی با تغییرات دبی آب و در اختلاف دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد ارائه شده است.



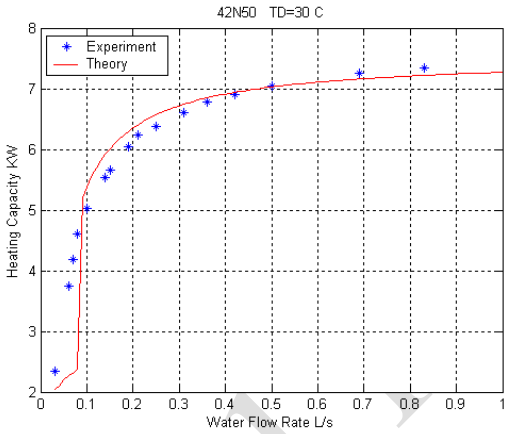
شکل ۶ ظرفیت حرارتی مبدل با تغییرات دبی آب

با افزایش سرعت جریان هوای عبوری از کویل مقدار ضریب انتقال حرارت افزایش می‌یابد و در نتیجه نرخ انتقال حرارت کویل بهبود می‌یابد، اما افت فشار سمت هوا با توان دوم سرعت افزایش می‌یابد و در نتیجه از یک سرعت جریان هوای عبوری به بعد با افزایش مصرف در پروانه‌ها بیشتر از مقدار بهبود در عملکرد کویل، که می‌تواند بازده سیکل تبرید را افزایش دهد، خواهد بود.

www.SID.ir

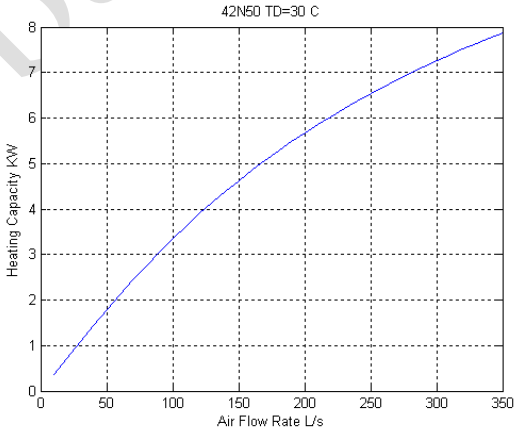
Archive of SID

مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC
www.Mobadel.ir



شکل ۷ ظرفیت حرارتی مبدل با تغییرات دبی آب

در شکل ۸ ظرفیت حرارتی مبدل در دبی‌های مختلف هوا ارائه شده است، اختلاف درجه حرارت برابر ۳۰ درجه سانتی‌گراد و دبی آب عبوری ثابت و برابر با ۰/۲۱ لیتر بر ثانیه است.



شکل ۸ ظرفیت حرارتی کویل با تغییرات دبی هوا

با افزایش سرعت هوای عبوری ضریب انتقال حرارت افزایش می‌یابد، اما درعین حال کارایی پره‌ها کاهش می‌یابد. در مجموع با افزایش جریان هوای عبوری نرخ انتقال حرارت افزایش می‌یابد. افزایش نرخ انتقال حرارت با افزایش افت فشار همراه است. در نتیجه در سرعت‌های بالاتر از یک سرعت مشخص، افزایش توان مصرفی موتور پروانه بیشتر از بهبود کارایی نرخ انتقال حرارت خواهد شد. علاوه بر آن شدت صدای ایجاد شده نیز با افزایش سرعت هوا افزایش می‌یابد. بنابراین برای بررسی کامل مبدل حرارتی باید مجموعه عوامل موثر مورد بررسی قرار گیرند.

www.SID.ir

Archive of SID

مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC
www.Mobadel.ir

فهرست علائم

مساحت (m^2)	A
قطر لوله (m)	d
گرمای ویژه در فشار ثابت (kJ/kg K)	c_p
سرعت جرمی (kg/s)	G
ضریب انتقال حرارت جابه جایی (w/m^2K)	h
نرخ انتقال حرارت (w)	Q

علائم یونانی

کارایی مبدل	ε
کارایی پره	η
ضریب لزجت دینامیک ($N.s/m^2$)	μ

زیرنویس‌ها

سیال	r
هوا	a
دیواره	w

مراجع

1- Product Data, Carrier co. Room Fan Coil, 2010.
2- Product Data, Carrier Corporation, Indoor Air Handlers, 2005, www.carrier.com .
3- Kraus, A., 2001. Extended Surface Heat Transfer, John Wiley & sons, New York.
4- Aspelund, K.A. 2001. “Optimization of Plate-Fin-and-Tube Condenser Performance and Design for Refrigerant R-410A Air-Conditioner,” M.S. Thesis, Georgia Institute of Technology.
5- Kakac, S.,1991, Boilers Evaporators & Condensers, John Wiley & sons, New York.
6- J., Hesselgreaves, 2000, Compact Heat Exchangers, Elsevier science & Technology
7- Incropera, F. P. and DeWitt, D. P., 1996. Fundamentals of Heat and Mass Transfer, John Wiley & Sons, New York.

www.Mobadel.ir
www.SID.ir

Archive of SID

مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC
www.Mobadel.ir

www.Mobadel.ir

www.SID.ir