Archive of SID

بررسی تاثیر خنک کاری بیشتر گاز در برج های خنک کن ایستگاه تقویت فشار گاز بر کاهش مصرف انرژی در خطوط انتقال گاز

شقایق خلجی ، کارشناس ارشد دفتر مطالعات و مدیریت انرژی شرکت ملی گاز ایران
محمد سمیع پور گیری دکتری مهندسی شیمی .عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

چکیده

طی سال های اخیر استفاده از هوا به عنوان سیال خنک کننده و جایگزین برای آب در برج های خنک کننده متداول گشته است. این نوع مبدل ها بطور گسترده برای خنک کردن مایعات و گازها به عنوان مثال در برج های خنک کن ایستگاه های تقویت فشار و پالایشگاه ها استفاده میشوند.

در ایستگاه های تقویت فشار گاز با استفاده از یک یا چند کمپرسور افت فشار ایجاد شده در خطوط انتقال جبران می گردد.اما افزایش فشار گاز در کمپرسور ها سبب افزایش دمای گاز می شود و این افزایش دما به پوشش لوله ها آسیب خواهد رساند ، لذا دمای گاز توسط برج های خنک کن کاهش یافته و سپس به خط لوله انتقال تزریق می گردد.

با توجه به آنکه میزان کاهش دمای گاز و خنک کاری بیشتر ، بر میزان افت فشار گاز در خط لوله و در نتیجه کاهش میزان مصرف انرژی در ایستگاه بعدی قابل بررسی است ، در این مقاله امکان سنجی خنک کاری بیشتر گاز در برج های خنک کن ایستگاه های تقویت فشار و تاثیر آن بر کاهش مصرف انرژی مورد نیاز در آنان مورد بررسی قرار می گیرد.

مقدمه

نتایج شبیه سازی خط لوله اول سراسری ، توسط نرم افزار PIPEPHASE نشان می دهد خنک کاری بیشتر گاز در خروجی ایستگاه های تقویت فشار گاز نه تنها سبب کاهش سرعت و کاهش عدد رینولدز میشود (که درنتیجه کاهش افت فشار در خط لوله را خواهیم داشت.) بلکه سبب کاهش دمای گاز ورودی به به ایستگاه بعدی می گرددکه این امر باعث افزایش راندمان ترمودینامیکی کمپرسور در ایستگاه بعدی می گردد. جهت پیش بینی میزان کاهش مصرف انرژی در کمپرسورهای ایستگاه بعدی این کمپرسورها توسط نرم افزار HYSYS شبیه سازی شده است.

میزان تاثیر خنک کاری بیشتر گاز خروجی ایستگاه تقویت فشار گاز بر کاهش مصرف انرژی

نتایج این شبیه سازی نشان میدهد که با کاهش بیشتر دمای خروجی گاز هر ایستگاه به میزان ۵° سانتیگراد نسبت به حالت طراحی ، دمای انتهای خط هر ایستگاه به طور میانگین ۳/۵ درجه سانتیگراد کاهش می یابد که این امر علاوه بر کاهش ۲/۲ درصدی کاهش افت فشار گاز در خط لوله سبب کاهش ۳/۶ درصد کاهش مصرف انرژی در کمپرسور ایستگاه بعدی می شود. درصورت کاهش دمای گاز خروجی هر ایستگاه به میزان ۱۰ درجه سانتیگراد بیشتر از میزان طراحی، دمای انتهای خط هر ایستگاه ۶/۸ درجه سانتیگراد کاهش می یابد و کاهش ۴/۳ درصدی افت فشار گاز در خط لوله و کاهش ۷ درصدی مصرف انرژی در کمپرسور ایستگاه بعدی را خواهیم داشت.با کاهش ۱۵ درجه سانتیگراد دمای گاز خروجی هر ایستگاه بیشتر از میزان طراحی ، ۱۰ درجه سانتیگراد کاهش دمای انتهای هر خط ، ۶/۴ درصد کاهش افت فشار و ۱۰/۴ درصد کاهش مصرف انرژی مشاهده می شود و در نهایت با کاهش دمای گاز خروجی ایستگاه به میزان ۲۰ درجه سانتیگراد بیشتر از دمای طراحی ، ۱۳/۵ درجه سانتیگراد کاهش دمای انتهای خط ، ۸/۶ درصد کاهش افت فشار گاز و ۱۳/۷ درصد کاهش میزان مصرف انرژی در ایستگاه تقویت فشار بعدی را خواهیم داشت.

www.SID.ir

Archive of SID

این نتایج نشان می دهد که کاهش بیشتر دمای خروجی هر ایستگاه سبب صرفه جویی در میزان مصرف انرژی می گردد، اما باید امکان خنک کاری بیشتر گاز در کولر هر ایستگاه بررسی گردد. از طرف دیگر احتمال تشکیل هیدرات در خط لوله در اثر خنک کاری باید مد نظر قرار گیرد.

وجود آب همراه جریان گاز در دماهای پایین موجب تشکیل هیدرات می گردد که این امر می تواند در دماهای پایین سبب ایجاد گرفتگی خط لوله شود. جهت جلوگیری از تشکیل هیدرات ، دمای گاز همواره باید بالاتر از دمای هیدرات جریان نگاه داشته شود.

با توجه به آنکه دمای گاز در انتهای خط لوله هر ایستگاه در اثر تبادل حرارت با خاک کمتر می باشد لذا خطر تشکیل هیدرات در انتهای خط لوله بیشتر خواهد بود.

همچنین در مناطق سرد سیر و در فصول سرد سال خطر تشکیل هیدرات به مراتب بالاتر از سایر فصول می باشد و مسئله خنک کاری گاز خروجی از هر ایستگاه باید با دقت بیشتری بررسی گردد.

بررسی فنی و اقتصادی خنک کاری بیشتر گاز خروجی از ایستگاه ها

در خط لوله گاز یکی از پارامترهای بسیا موثر بر اقتصاد فرایند انتقال گاز توان مورد نیاز کمپرسورها جهت تامین فشار مورد نیاز است.توان کمپرسورها در ایستگاه های تقویت فشار گاز توسط توربین های گازی تامین می گردد که سوخت این توربین ها توسط مقداری از گاز عبوری از خط لوله تغذیه می شود بنابراین کاهش کار کمپرسورها سبب کاهش گاز مصرفی در توربین ها خواهد شد.

نتایج حاصل از شبیه سازی خط لوله اول سراسری و کمپرسور ایستگاه ها نشان می دهد که درصورت خنک کاری بیشتر گاز خروجی از هر ایستگاه به میزان ۲۰ درجه سانتیگراد در حدود ۵٪ از افت فشار گاز در خط لوله کاسته می شود و توان مصرفی ایستگاه بعدی در حدود ۱۴ ٪ کاهش خواهد یافت. اما در مقابل برای دستیابی به این میزان کاهش توان مصرفی ، نیاز به بیش از ۳۲MW سرمایش برای خنک سازی گاز می باشد. مسلما تامین این مقدار سرمایش علاوه بر اعتبار اولیه مورد نیاز جهت سرمایه گذاری هزینه عملکرد بالایی را نیز می طلبد.برای بررسی دقیق تر مسئله باید مقایسه اقتصادی بین صرفه جویی حاصل از این طرح و هزینه مورد نیازاجرای آن صورت گیرد.

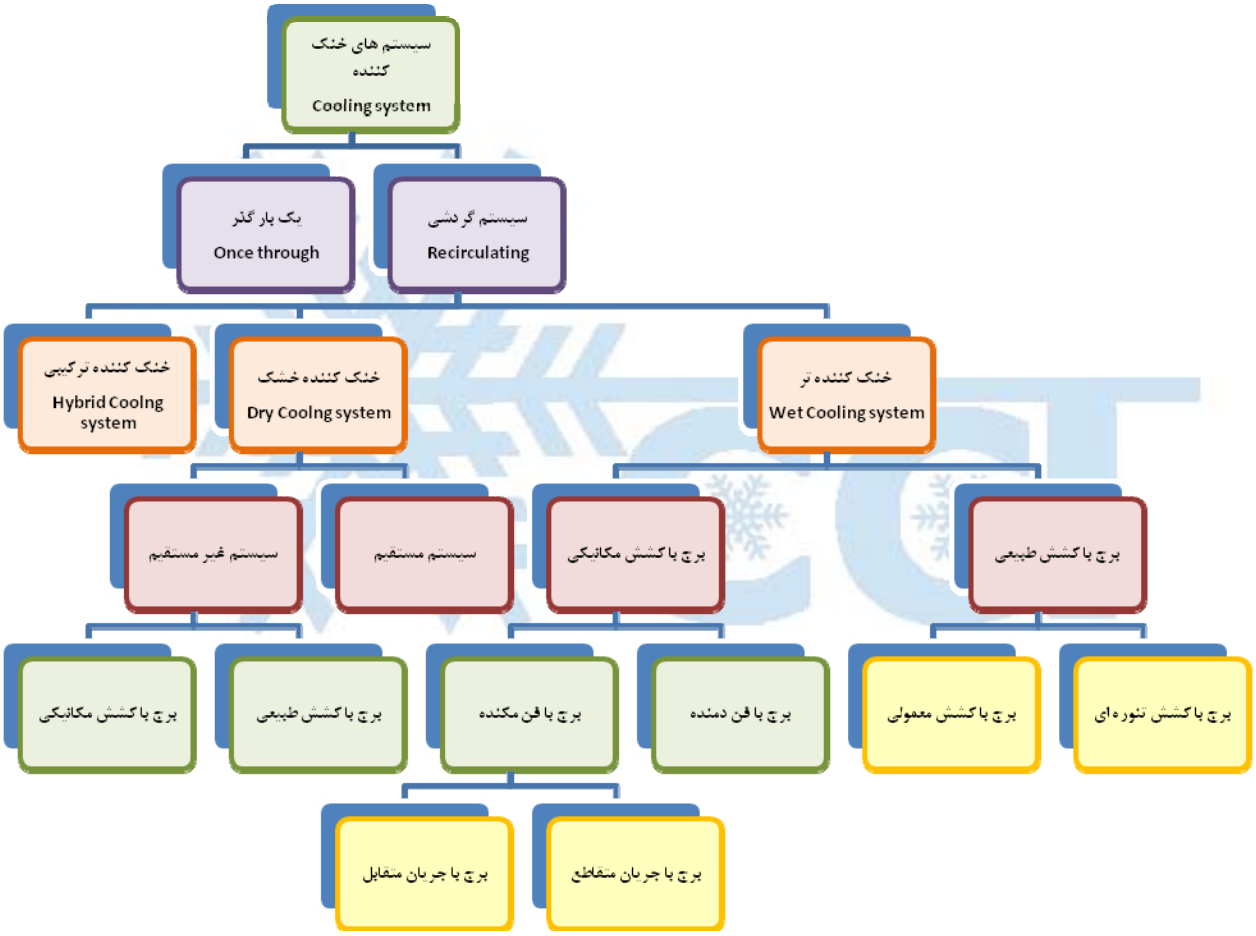
www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به مطرح شدن ارزش واقعی سوخت در چند سال اخیر و بحث واقعی شدن قیمت سوخت لزوم بررسی دقیق تر این طرح روشن می گردد.
در ادامه ضمن آشنایی بیشتر با خنک کننده های هوایی راهکارهای ممکن جهت افزایش کارایی و بازده آنها بیان میگردد.

انواع برج های خنک کننده

در شکل زیر طرحواره انواع برج های خنک کننده مشاهده می شود.



اساس کارکرد انواع برج های خنک کننده

۱- اساس کارکرد سیستم های خنک کننده یک بار گذر(once throgh)

www.SID.ir

Archive of SID

این گونه از سیستم های خنک کننده برای سرد سازی آب گرم برگشتی در مجتمع های بزرگی مورد استفاده قرار می گیرد که در مجاورت دریا هستند. غالبا از این نوع سیستم ها در مناطقی استفاده می شود که اولا به منابع عظیم آب نزدیک بوده و ثانیا به لحاظ شرایط آب و هوایی مثل رطوبت بالای هوا نتوان از سیستم های خنک کننده ی تر و یا خشک با راندمان بالایی استفاده کرد.

اساس کار این گونه از سیستم های خنک کننده به این صورت می باشد که آب خنک از اعماق دریا وارد سیستم شده و در یک سری مبدل حرارتی ، آب گرم خروجی از واحد های مختلف را خنک می سازد. سپس آب خنک گرفته شده از دریا پس از تبادل حرارت و افزایش دما دوباره به دریا بازگشت داده می شود. همچنین آب گرم خروجی از واحدها بعد از خنک شدن ، بار دیگر جهت مصارف سردسازی به مجتمع ها برمی گردد. از این جهت به این سیستم ها یک بار گذر گفته می شود .در این سیستم آب جهت خنک سازی مجدد ، توسط سیستمی مثل برج خنک کننده در گردش مکرر و مداوم قرار نمی گیرد و پس از یک بار عبور و خنک نمودن سیال گرم حاصل از عملیات واحدها مجددا به دریا باز گردانده می شود.

۲- اساس کارکرد سیستم های گردشی _ برج ها خنک کننده خشک (dry cooling)

در یک سیستم خنک کننده خشک ، برای خنک کردن سیال داغ از هوا به عنوان سیال خنک کننده استفاده می شود. در این گونه سیستم ها سیال خنک کننده که هوا می باشد با سیال داغ که بایستی خنک شود تماس مستقیم ندارد، بدین صورت که سیال داغ که ممکن است آب داغ یا بخار باشد از داخل یک سری لوله پره دار عبور داده می شود و با عبور جریان هوا از روی لوله ها ، خنک سازی صورت می گیرد. عبور هوا از روی این لوله ها ممکن است به صورت طبیعی و یا اجباری توسط یک سری فن انجام شود. در صورتی که هوا به صورت اجباری از روی لوله ها جریان یابد این عمل به دو صورت فن دمنده و یا فن مکنده می باشد.

از آنجایی که در سیستم خنک کننده ی خشک از هوا به عنوان سیال خنک کننده استفاده می شود بر خلاف سیستم های خنک کننده ی تر ، احتیاجی به دسترسی به منابع آبی نمی باشد ، پس در مناطقی که با کمبود آب روبرو هستند و یا هزینه ی آب بالاست استفاده از سیستم های خشک مقرون به صرفه است.

مکانیزم خنک سازی در سیستم های خشک همانند مبدلهای حرارتی است ، یعنی انتقال حرارت به طریق جابجایی ، باعث خنک شدن سیال داغ می شود ، بر خلاف سیستم هایی که عامل اصلی خنک سازی در آن ها پدیده تبخیر است. پس حداقل دمایی که در خنک سازی برای سیال سرد می توان به آن دست یافت دمای حباب خشک محیط است نه دمای حباب تر(مرطوب) محیط. همان طور که می دانیم در اکثر موارد (مگر در یک مخلوط اشباع) ، دمای حباب خشک بیشتر از دمای حباب مرطوب است ، پس بازده یک برج خشک به خصوص در روزهای گرم که دمای هوای محیط بالاست ، نسبت به یک برج مرطوب کمتر است.

www.SID.ir

Archive of SID

۲-۱ سیستم های خنک کننده خشک مستقیم

یکی از بیشترین موارد مورد استفاده در سیستم های خنک سازی خشک ، روش مستقیم است که مانند رادیاتور ماشین عمل می کند. در این روش ، بخار خروجی از توربین وارد یک سری لوله پره دار شده ، هوا توسط فن بر روی این لوله ها دمیده می شود و بخار داخل لوله ها را خنک می کند.

در سیستم خنک سازی خشک مستقیم که به آن کندانسور هوایی (Air-Cooled Condenser) و یا ACC نیز گفته می شود ، مجموعه لوله هایی که بخار از داخل آن ها عبور می کند درون یک ساپورت فلزی قرار دارند. بخار خروجی از توربین به داخل مجموعه توربین ها هدایت شده و هوا نیز بر روی آن ها دمیده می شود . با عبور هوا عملیات خنک سازی انجام و در نتیجه بخار کندانس شده و به مایع تبدیل می شود. این مایعات جمع آوری شده و به سیکل تولید بخار فرستاده می شود. کانالی که بخار را به سمت کندانسور هدایت می کند بایستی دارای طول کم و قطر زیاد باشد تا افت فشار را به حداقل برساند.

۲-۲ سیستم های خنک کننده خشک غیر مستقیم

در روش غیر مستقیم ، بخار خروجی از توربین ابتدا در داخل یک کندانسور توسط آب به عنوان سیال خنک کننده ، کندانس شده و به مایع تبدیل می شود. آب گرم وارد یک سری لوله پره دار می شود و با دمیدن هوا بر روی لوله ها خنک می شود و دوباره به سیستم برگردانده می شود. چون در این سیستم از یک سیال واسط که همان آب است در خنک سازی و تبدیل بخار به مایع در داخل کندانسور استفاده شده و مستقیما از هوا استفاده نمی شود به آن سیستم غیر مستقیم اطلاق می شود. بسته به نوع کندانسور که در این قبیل سیستم ها مورد استفاده قرار می گیرد روش خنک سازی خشک غیر مستقیم به سه روش انجام می شود :

۱- سیستم خنک کننده ی خشک غیر مستقیم با استفاده از کندانسور سطحی

۲- سیستم خنک کننده ی خشک غیر مستقیم با استفاده از کندانسور پاششی (جت یا تماس مستقیم)

۳- سیستم خنک کننده ی خشک غیر مستقیم با استفاده از سیال خنک کننده آمونیاک

در اولین روش که از کندانسور سطحی استفاده می شود ، بخار خروجی از توربین وارد کندانسور شده و با عبور از روی لوله های حاوی آب خنک کننده ، به صورت کندانس در می آید و در اثر انتقال حرارت ، آب موجود درون لوله ها گرم می گردد ، سپس آب گرم خروجی از کندانسور به سمت برج خنک کننده فرستاده شده و با عبور از یکسری لوله های پره دار توسط دمیده شدن هوا به صورت طبیعی یا اجباری سرد می شود.

www.SID.ir

Archive of SID

در دومین روش از کندانسور پاششی یا تماس مستقیم استفاده می شود. در این روش ، بخار خروجی از توربین وارد کندانسور شده و با آب سرد کننده مخلوط می گردد. آب سرد کننده باعث کندانس شدن بخار خروجی از توربین می شود. آب سرد کننده و بخار تقطیر شده در انتهای کندانسور، جمع آوری و مقداری از آن توسط پمپ گردشی به برج خنک کننده برگردانده شده و در آنجا توسط دمیده شدن هوا سرد می شود مابقی آب هم به سمت تغذیه آب نیروگاه ها رفته و به سمت بویلر برای تولید بخار فرستاده می شود. این نوع از سیستم خنک کننده ی خشک ، سیستم (Heller) نامیده می شود.

در نوع سوم از آمونیاک به عنوان سیال خنک کننده در کندانسور استفاده می شود. مایع آمونیاک در حالت ترمودینامیکی اشباع وارد کندانسور شده ، پس از گرفتن گرمای بخار ، به بخار اشباع آمونیاک تبدیل شده و سپس وارد سیستم خنک کننده گشته ، به صورت مایع درآمده و دوباره به سمت کندانسور پمپ می شود. این روش خنک سازی در مقیاس صنعتی چندان مورد استفاده ندارد.

۲-۳ مزایا

از مزایای سیستم خنک کننده خشک می توان به موارد ذیل اشاره کرد :

۱. در یک سیستم خنک کننده ی خشک ، برای خنک سازی از هوا استفاده می شود و نیازی به سیال سرد کننده نیست ، در نتیجه میزان مصرف آب در مقایسه با سیستم های خنک کننده ی مرطوب بسیار کمتر است. بنابر این در مناطقی که با مشکلات کمبود آب روبرو هستند استفاده از این سیستم ها توصیه می شود.

۲. در کارخانجاتی که از سیستم خنک سازی خشک استفاده می کنند بدون توجه به دسترسی به منابع آبی می توان کارخانه را در هر محلی احداث کرد.

۳. قسمت های مختلف برج خشک ، قابل تعویض جزء به جزء می باشد ، لذا انتخاب اجزاء ارزان قیمت باعث کاهش میزان سرمایه گذاری اولیه می شود و به کمک پیشرفت سریع تکنولوژی ، در دوره های کوتاه می توان برای تعویض اجزاء اقدام نمود.

۴. از آنجایی که سیستم های خشک از آب به عنوان سیال سرد کننده استفاده نمی کنند ، احتیاج به افزودن مقادیر زیاد مواد شیمیایی جهت تصفیه آب نداشته و همین طور به دوره های تمیز کاری مانند سیستم های مرطوب نیاز نمی باشد.

۵. سیستم های خنک کننده ی خشک ، باعث آلودگی منابع آبی نمی گردد که این آلودگی ها در سیستم های تر شامل آلودگی شیمیایی و آلودگی حرارتی منابع آب می شود.

۶. برج خنک کننده ی خشک ، اثرات نامطلوب زیست محیطی مانند تشکیل ابر و بخارات قابل رویت که ناشی از پدیده تبخیر در برج های خنک کننده مرطوب می باشد را ندارد.

www.SID.ir

Archive of SID

کنترل برج های خنک کننده

موارد ذیل از مهمترین عوامل در کنترل برج های خنک کننده می باشد :

- چک و ثبت متغیرها

➢ بازرسی قسمت های مختلف که شامل مراحل زیر می باشد :

➢ دیواره های جانبی

➢ اسکلت برج

➢ بخش پوشش دهنده های فوقانی

➢ پلکان

➢ پلکان عمودی

➢ حوضچه

➢ لوله ها

➢ شیر های کنترل جریان حوضچه

➢ نازل ها

➢ پرکن ها

➢ قطره گیر ها

➢ صفحات ورودی هوا

➢ جعبه دنده

➢ شفت و کوپلینگ ها

➢ فن

➢ موتور

- کنترل شیمیایی

www.SID.ir

Archive of SID

که خود شامل چندین دسته به شرح ذیل می باشد :

- کنترل رسوبات بیولوژیکی

رسوبات بیولوژیکی به دلیل تجمع و ته نشین شدن گل و لای و مواد آلی که شامل میکروارگانیسم ها نظیر باکتری ها و همچنین مواد معدنی مانند گرد و غبار و شن می باشد ، در یک سیستم خنک کننده تشکیل می شود.

رسوبات بیولوژیکی در یک مبدل حرارتی، نه تنها باعث کاهش میزان انتقال حرارت می شود بلکه در زیر این لایه های رسوب ، پدیده خوردگی تشدید می گردد. به طور کلی رسوبات بیولوژیکی به دو دست لجن (Slime) و گل و لای (Sludge) تقسیم بندی می گردد که در جدول شماره (1) توضیح داده شده است.

جدول(1): انواع رسوب بیولوژیکی و مشخصات آن:

ر سو ب	مشخصات
	رسوبات بیشتر شامل میکروارگانیسم ها و به میزان کمتر مواد غیرآلی می باشد. این نوع رسوب اغلب به سطح لوله های مبدل حرارتی می چسبد که این چسبندگی به دلیل ایجاد یک لایه چسبنده از مواد آلی می باشد که توسط میکروارگانیسم ها تولید می شود. این رسوب حتی د ر مناطقی که سرعت آب ز یاد است نیز دیده می شود.
(گل و لای)	رسوب بیشتر شامل مواد غیرآلی و به میزان کمتر میکروارگانیسم ها می باشد. این نوع رسوبات بیشتر در مناطقی که سرعت آب کم و یا آب ساکن است تشکیل می شود.

محل تشکیل رسوبات بیولوژیکی و نوع رسوبات در جدول شماره (2) ذکر شده است:

جدول (۲): قسمتهایی از سیستم که رسوبات تشکیل می شود و نوع رسوب تشکیل شده

ل تشکیل رسوب		رسوب
حرارتی		از نوع Slime
	صفحات جداکننده، سطح خارجی لوله ها، صفحات بافل (صورتیکه آب از داخل پوسته حرکت کند)	از نوع Slime و رسوب از نوع Sludge
خنک کننده	سیستم توزیع آب گرم	از نوع Slime و رسوب از نوع Sludge
	پر کن ها	از نوع Slime
حوضچه آب سرد	کف حوضچه	از نوع Sludge
	دیواره ها	از نوع Slime

www.SID.ir

Archive of SID

- کنترل رسوبات معدنی
- کنترل خوردگی
- کنترل PH

- کنترل و عوامل موثر بر کارایی برج
- بهره برداری در شرایط اضطراری
- تنظیم جریان زیرآب

پارامتر های موثر بر راندمان برج خنک کن

با بررسی شرایط برج های خنک کننده موجود موارد زیر جهت افزایش راندمان آنها پیشنهاد می گردد:

۱- اصلاح ساختار هندسی قسمت میانی : با بررسی سرعت هوا در برج مشخص می گردد تراکم بالای پروفیل های سرعت در فضاهای بالایی فن و در عوض تراکم خیلی کم این پروفیل ها در قسمت های کناری و نواحی نزدیک به دیواره برج است و این مطلب نشان میدهد که یکی از عوامل مهم و تاثیر گذار در کاهش راندمان برج خنک کن ایستگاه، هندسه نامناسب قسمت برج یا محفظه عبور هوا می باشد.در واقع ساختمان هندسی این قسمت تاثیر بسیار قابل ملاحظه ای در کاهش میزان هوای ورودی به فضای شامل دسته لوله ها دارد . لذا درصورت اصلاح ساختار هندسی قسمت میانی ، راندمان کاری برج خنک کن افزایش خواهد یافت. استفاده از گاید کمکی در داخل قسمت میانی به منظور هدایت پروفیل های سرعت به تمام قسمت های برج به عنوان راهکاری مناسب و مقرون به صرفه برای رفع این مشکل پیشنهاد میگردد.

۲- تصحیح ارتفاع قسمت میانی : جهت جریان هوای خروجی در راستای محور و عمود بر فن می باشد .با توجه به مقادیر بالای سرعت و با عنایت به مواردگفته شده ، پروفیل های هوا تمایل بیشتری دارند تا هرچه سریعتر قسمت میانی برج را ترک کرده و وارد فضای شامل دسته لوله هایبرج شوند. در واقع پارامترهای سرعت بالا و جهت عمودی جریان هوا امکان هدایت جریان هوا به سمت قسمت های کناری نزدیک به دیواره را کمتر می کند.

یکی از راهکارهای پیشنهادی به منظور رفع این مشکل افزایش ارتفاع قسمت میانی برج خنک کن است تا بدین ترتیب زاویه جریان هوا تا حدی تعدیل شده و مولکول های هوا فرصت بیشتری برای تماس با فضای بیشتری از بخش میانی را پیدا کنند.به عبارت دیگر هرچه ارتفاع قسمت میانی یا محفظه عبور هواافزایش یابد عدد نوسلت مجموعه کل دسته لوله ها نیز بیشتر می شود .و افزایش عددنوسلت در واقع بیانگر بالارفتن میزان نرخ انتقال حرارت مجموعه دسته لوله ها و در نتیجه افزایش راندمان شرایط کاری برج خنک کن ایستگاه است.

۳- افزایش سرعت فن : یک رابطه خطی بین افزایش عدد نوسلت متوسط و بالا رفتن سرعت فن وجود دارد ولی با افزایش سرعت خروجی از فن قطر پروانه فن باید افزایش یابد لذا به راحتی امکان افزایش سرعت فن وجود ندارد.

با توجه به افزایش قابل توجه ضریب انتقال حرارت و مقادیر بالای عدد نوسلت و همچنین محدودیت فضایی بیان شده این عامل مهم و تاثیر گذار باید با دقت بیشتری برسی گردد.

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه گیری

روش های پیشنهادی فوق منجر به کمترین تغییرات در ساختار کلی برج خنک کن شده و افزایش کارایی آن را ممکن می سازد. مطابق با موارد فوق با انجام کنترل های مناسب از بخش های مختلف برج و انجام یکسری تغییرات می توان کارایی برج را افزایش داد و درنتیجه آن سرمایش بیشتری را ایجاد کنیم . سرد سازی بیشتر گاز خروجی از ایستگاه علاوه بر کاهش افت فشار گاز در خط لوله میزان مصرف سوخت در کمپرسورهای ایستگاه بعدی را نیز کاهش خواهد داد.

www.SID.ir