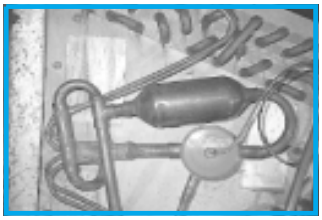
فشار مناسب در سامانه‌های تبرید

نوشته‌ی: GEORGE C. BRILEY, P. E.
برگردان: مهندس علی توکلی



کنترل‌های مربوط به کندانسور تبخیری در سامانه‌های تبرید آمونیاکی، می‌توانند فشار را – چه بر روی سامانه و چه بر روی اعصاب شما! – کاهش دهند.

با بالارفتن هزینه‌های برق و زیر سوال رفتن دسترس‌پذیری به این منبع انرژی، مالکان سامانه‌های تبرید تجاری و صنعتی، سخت به فکر صرفه‌جویی در مصرف انرژی افتاده‌اند. اغلب سامانه‌های صنعتی تبرید آمونیاکی از کندانسورهای تبخیری استفاده می‌کنند و عملکرد آن‌ها مستقیما به دمای حباب تر محیط وابسته است. متاسفانه اغلب سامانه‌های کندانسور تبخیری توسط یک فشار تقطیر از پیش تعیین شده کنترل می‌شوند که هرچند ممکن است کارآیی داشته باشد، اما بازدهی آن چنگی به دل نخواهد زد.

مشکلات معمول و راه‌حل‌ها

سال‌هاست اپراتورهایی که با سامانه‌های تبرید آمونیاکی سروکار دارند، بر این باورند که بهتر است سامانه خود را در پایین‌ترین فشار تقطیر (دما) ممکن مورد بهره‌برداری قرار دهند. اغلب توصیه‌هایی که در این زمینه شده است، این است که فشار تقطیر در ۱۰۰ psig یا حتا ۹۰ psig حفظ شود به شرط این که کل سامانه بتواند به خوبی کار کند. در بسیاری موارد، اپراتورها دلایل مختلفی در آستین دارند تا فشار تقطیر را در ۱۷۵ psig حفظ کنند. دلایلی که در این رابطه عنوان می‌شود معمولا از قرار زیر است:

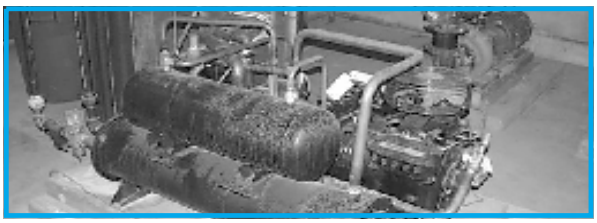
۱) اگر فشار تقطیر را روی ۱۷۵ psig تنظیم نکنیم، سامانه برفک‌زدا کار نمی‌کند.
۲) اگر فشار در ۱۷۵ psig حفظ نشود، سامانه یخ‌ساز با سرعت کافی عمل نمی‌کند.
۳) مهندس تاسیسات گفته است نباید فشار را از ۱۵۰ یا ۱۷۵ psig پایین‌تر بیاورم.
۴) یک سامانه پمپ‌کننده‌ی گاز فلاش در تاسیسات وجود دارد که در فشار کمتر از ۱۶۰ psig کار نمی‌کند.
۵) فریزر بستی ساز باید آمونیاک مایع با فشار ۱۵۰ psig داشته باشد به همین خاطر فشار تقطیر مبرد را روی ۱۷۵ psig تنظیم می‌کنم.
۶) سامانه موجود دارای کمپرسورهای پیچی با مکانیسم خنک‌کننده‌ی تزریق مایع است و به همین خاطر نمی‌توان در فشار کمتر از ۱۵۰ psig کار کرد.
۷) سعی می‌کنم فشار تقطیر سامانه را در ۱۰۰ psig کنترل کنم، ولی متوجه می‌شوم در اغلب موارد فقط یک کمپرسور کوچک درحال کار است و تمام پنکه‌های کندانسور تبخیری و پمپ‌ها در حال کارند.

راه‌هایی وجود دارد تا بتوان به هر یک از شرایط بالا غلبه نموده و در عوض، سامانه را در فشاری

اغلب سامانه‌های صنعتی تبرید آمونیاکی از کندانسورهای تبخیری استفاده می‌کنند و عملکرد آن‌ها مستقیما به دمای حباب تر محیط وابسته است

حدود psig ۱۰۰ (°F ۶۴ دمای اشباع) راه‌اندازی نمود. صرفه‌جویی‌های حاصل از کاهش توان مورد نیاز کمپرسور و کاهش توان پنکه کندانسور تبخیری و همچنین توان مصرفی پمپ آب را می‌توان با استفاده از داده‌های ثبت شده، تخمین زد. روشن است تاسیساتی در نواحی با دمای حباب تر پایین‌تر مشغول به کار هستند، نسبت به نواحی دارای دمای حباب تر بالاتر، صرفه‌جویی بیشتری در انرژی خواهند داشت، اما همیشه هم این داوری صادق نیست. هر دو ناحیه آب و هوایی مذکور می‌توانند با اضافه کردن کنترل کننده‌های قابل برنامه‌ریزی و تجهیزاتی برای بهینه‌سازی عملکرد کندانسور تبخیری و در نتیجه صرفه‌جویی در مصرف انرژی، توجیه پذیری لازم را داشته باشند. در بسیاری از موارد، هزینه‌هایی که این نوع سامانه‌های کنترلی تحمیل می‌کنند، طی شش ماه تا دو سال با صرفه‌جویی در انرژی، جبران خواهد گردید. حالا اجازه دهید هرکدام از «بهانه»های بالا را به نوبت بررسی کرده و راه حل مناسب را پیدا کنیم. موارد ۱، ۲ و ۳ نسبتا آسان هستند. کافی است یک «مخزن برفک‌زدایی گاز داغ (HGDR)» که برای نگه داشتن مقدار کافی گاز داغ برای برفک‌زدایی طراحی شده است به سامانه اضافه کنید و یک رگلاتور فشار خروجی که در فشار psig ۱۷۵ (یا هر حداقل فشاری که سامانه برفک‌زدایی در آن کار می‌کند) تنظیم شده است نیز نصب نمایید. مسیر تخلیه‌ی کوچک‌ترین کمپرسوری که گاز داغ مورد نیاز را تامین می‌کند را به HGDR هدایت کنید. در این حالت، کندانسیگ یونیت می تواند در فشار psig ۱۰۰ یا کمتر کار کند. برای مشکل شماره ۴، راه حل‌های ارایه شده برای شماره‌های ۱ – ۲ و ۳ را که در بالا ذکر شد، ملاحظه کنید. اما بهترین راه حل در این مورد، تبدیل به سامانه پمپاژ مکانیکی و صرفه‌جویی ۴ تا ۱۵ درصدی در انرژی، بسته به کاربرد مورد نظر و دمای کارکرد سامانه، خواهد بود. مشکل شماره ۵ نیز به آسانی قابل حل است. پمپ‌های دوگانه‌ی مایع (یک پمپ یدکی) را به مخزن فشار بالا اضافه کرده و یا یک مخزن مایع کوچک در مسیر تخلیه‌ی کندانسور برای تغذیه‌ی آمونیاک به پمپ‌ها در نظر بگیرید. آن‌ها را برای اختلاف فشار psig ۶۰ انتخاب کنید و بدین ترتیب، کندانسورها می‌توانند در فشار psig ۱۰۰ کار کنند. توان مصرفی پمپ نیز در این حالت به حداقل خواهد رسید. برای حل مشکل شماره ۶، راه حل مشکل ۵ را نگاه کنید. اما بهترین رویکرد در این زمینه، تبدیل کردن شیوه قبلی به روش خنک‌سازی به شیوه ترموسیفون و در نتیجه صرفه‌جویی ۴ تا ۱۰ درصدی در انرژی مورد نیاز کمپرسورهای خنک شونده با عمل تزریق خواهد بود. تبدیل‌هایی که با سامانه‌های دو مرحله‌ای انجام می‌شوند، انرژی بیشتری صرفه‌جویی خواهند کرد.

راه حل مشکل شماره ۷ در مورد راه حل شماره ۱ و ۶ و تمام کندانسورهای تبخیری چندگانه قابل اعمال است. یک کنترل کننده‌ی ریز پردازنده برای کندانسور تبخیری که به خوبی به کار برده شده و برنامه‌ریزی شده باشد، می‌تواند به شکلی پیوسته سامانه کندانسور را کنترل کرده و با اندازه‌گیری دمای حباب تر، فشار تقطیر را در پر بازده‌ترین نقطه‌ی ممکن در تمام اوقات تنظیم نماید. برای این که این مساله را بهتر توصیف کنیم، یک موتورخانه در یک تاسیسات تبرید صنعتی را در نظر بگیرید که چندین کمپرسور پیچی بزرگ در آن قرار دارد. این کمپرسورها در طول ساعات تولید در تاسیسات صنعتی فعال هستند و یک کمپرسور کوچک (۷۵ اسب) نیز که برای ساعات شبانه و روزهای تعطیل و توقف تولید در نظر گرفته شده است، سرمایش مورد نیاز برای فریزرها را تامین می‌نماید. کندانسورهای تبخیری موجود بر روی بام ساختمان، دارای توان کلی ۱۲۵ اسب برای پنکه و پمپ می‌باشد. کنترل کننده‌ی فشار تقطیر بر روی psig ۱۰۰ (°F ۶۳) تنظیم شده و دمای حباب تر محیط نیز °F ۸۰ است. در این حالت، ما کندانسورهای در حال کار با توان ۱۲۵ اسب داریم و توان کمپرسور، تنها ۷۵ اسب است چون نمی‌توانیم در دمای حباب تر °F ۸۰ به فشار تقطیر psig ۱۰۰ برسیم. در اینجا کنترل‌کننده‌ی ریز پردازنده‌ای وارد عمل می‌شود. این کنترل کننده متوجه می‌شود که فشار تقطیر نمی‌تواند به psig ۱۰۰ برسد چون دستگاه برای حفظ فشار تقطیری تنظیم شده است که مقداری بالاتر از دمای حباب تر می‌باشد. بنابراین کنترل‌کننده، پنکه‌ها و پمپ‌های



کندانسور تبخیری را برای رسیدن به پر بازده‌ترین فشار تقطیر، راه‌اندازی می‌نماید.

کنترل با ریز پردازنده

یک سامانه متداول برای کنترل کندانسور تبخیری بر اساس پنکه‌آوری ریز پردازنده‌ها، سامانه‌ای است که دما و فشار سامانه را با استفاده از حسگرهای آنالوگ بسیار دقیق دما و فشار، اندازه‌گیری می‌نماید. استفاده از سامانه کنترلی قابل برنامه‌ریزی یا ریز پردازنده‌ای، به کاربران امکان می‌دهد تا مزایای کارکرد کندانسور را (که با استفاده از کنترل‌های رله‌ای معمولی قابل دست‌یابی نیستند)، احساس نمایند. اندازه‌گیری‌هایی که توسط این سامانه انجام می‌شوند عبارتند از: دمای هوا (دمای حباب خشک)، دمای حباب تر (که به رطوبت نسبی بستگی دارد)، دمای تقطیر و فشار تقطیر. خروجی کنترل کننده‌ی کندانسور، پمپ‌های آب و پنکه‌ها را برای دست‌یابی به حداکثر بازدهی راه‌اندازی می‌نماید. دماها و فشارهای موجود، معمولا بر روی صفحه نمایش سامانه کنترلی نمایش داده می‌شوند. این سامانه به کاربر امکان می‌دهد تا عملکرد سامانه را مورد پایش قرار داده و بتواند متغیرهای عملکردی را در صورت لزوم تغییر دهد. این سامانه کنترلی، پمپ‌های آب و پنکه‌های کندانسور را روشن می‌کند تا زمانی که محدوده طراحی بین دمای حباب تر و دمای تقطیر به‌دست آید. از این پس، اگر تفاوت دما بیشتر شود، ظرفیت کندانسور افزایش خواهد یافت. به همین ترتیب، اگر تفاوت دما کمتر شود، ریز پردازنده‌ی موجود در سامانه اقدام به خاموش کردن پنکه‌ها و پمپ‌های آب می‌کند تا بازدهی مناسب سامانه حفظ شود. تاخیر زمانی بین تغییرات ظرفیت در سامانه نیز قابل تنظیم است. زمانی که دمای حباب تر تغییر می‌کند، ریز پردازنده دایما ظرفیت کندانسور را برای حفظ تنظیمات تفاضلی در مقداری بالاتر از دمای حباب تر، تنظیم می‌نماید. این کار مانند این است که کاربر، در تمام طول سال در محل کندانسور حاضر بوده و هر پنج دقیقه یک‌بار، تنظیمات لازم را اعمال نماید! شاخص دیگری نیز در بازدهی تقطیر سامانه وجود دارد. اگر هوا و یا گازهای غیرقابل تقطیر دیگری وارد سامانه تبرید شوند، فشار تقطیر افزایش خواهد یافت. یک نمودار فشار – دما برای آمونیاک، می‌تواند فشار مناسب برای هر دمای معین را مشخص سازد. اگر یک ماده غیر قابل تقطیر در سامانه وجود داشته باشد، فشار بیش از حد بالا خواهد بود. وقتی که دمای تقطیر اندازه‌گیری می‌شود، سامانه کنترلی مقدار فشار آمونیاک مربوطه را محاسبه می‌کند. اگر فشار اندازه‌گیری شده بین ۳ تا ۵ بالاتر از فشار محاسبه شده باشد، مشخص می شود که گازهای غیرقابل تقطیر وارد سامانه شده است. در این حالت، کنترل کننده به طور خودکار سامانه تخلیه را روشن می‌نماید. اگر سامانه تخلیه برای مدتی کار کند ولی فشار به حالت عادی خود بر نگردد، سامانه هشدار دهنده به کار می‌افتد.

اگر سامانه تخلیه کننده وجود نداشته باشد، در همان ابتدا سامانه هشدار دهنده به کار خواهد افتاد و اپراتور باید سامانه را به صورت دستی تخلیه نماید تا گازهای غیرقابل تقطیر خارج شوند. کنترل کندانسور همچنین دمای هوای بیرون را نیز اندازه می‌گیرد. صفحه نمایش سامانه، می‌تواند این دما را نمایش دهد. این صفحه نمایش همچنین این امکان را برای کاربر فراهم می‌آورد تا پمپ‌های آب کندانسور را در زمانی که دمای هوای بیرون تا کمتر از دمای انجماد کاهش می‌یابد خاموش نموده و یا به طور خودکار، گرم‌کن سینی کندانسور را روشن نموده و یا پمپ آب را خاموش نماید.

مثال عملی

سامانه نمونه‌ی ما دارای سه کمپرسور ۳۰۰ اسب بوده، ۶۰ اسب توان پنکه‌های کندانسور و ۱۵ اسب نیز توان پمپ‌های آب کندانسور می‌باشد. این سامانه همچنین دارای یک کمپرسور ۷۵ اسب برای زمان توقف خط تولید است. کندانسورهای آمونیاکی برای دمای تقطیر اشباع (SCT) معادل ۹۵ °F طراحی شده‌اند. کارآیی کل کمپرسور در مکش اشباع برابر با ۱۰ °F است. در فشار psig ۱۸۱،۱ (۹۵ SCT) ، توان مصرفی کمپرسور برابر با ۳۰۲ اسب، در فشار psig ۱۲۶ برابر با ۲۲۹ اسب و در psig ۱۰۳ برابر با ۲۰۰ اسب خواهد شد. با به کارگیری کنترل کننده‌ی ریزپردازنده‌ای کندانسور، کل ساعات کاری در طول سال (۸۷۰۰ ساعت) مورد تحلیل قرار گرفته است. این وضعیت را با وضعیت کارکرد سامانه در طول ۸۷۰۰ ساعت در فشار ثابت کندانسور معادل psig ۱۷۵ مقایسه کنید. با فرض این که بار کمپرسور کامل بوده و روش طراحی بین دمای حباب تر و دمای تقطیر برای تمام دماهای حباب تر به کار گرفته شده است. در مورد منطقه El Paso، این مقدار به °F ۲۵ می‌رسد. به ندرت می‌توان تاسیساتی را یافت که به مدت ۸۷۰۰ ساعت در سال در شرایط بار کامل کار کنند. اما این مقایسه در قالب مثال انجام شده است. این محاسبات را می‌توان برای هر ترکیبی از تعداد ساعات و شرایط کاری، تغییر داد. روشن است که با استفاده از کنترل‌کننده‌ی دمای حباب تر، صرفه‌جویی قابل توجهی در انرژی به دست می آید. داده‌های مربوط به چهار منطقه مختلف را که دمای حباب تر آن‌ها با یکدیگر تفاوت چشمگیری دارد، به نمایش می‌گذارد. در این تحلیل، تنها سه کمپرسور پیچی ۳۰۰ اسب که در مثال فوق به آن‌ها اشاره شد گنجانده شده‌اند. حتا اگر تاسیسات مذکور فقط در بار کامل و ۲۰۰۰ ساعت به جای ۸۷۰۰ ساعت کار کند، حدود ۲۴۰۰۰ دلار در منطقه Little Rock که منطقه‌ای با دمای حباب تر بالاست، صرفه‌جویی خواهیم داشت. کنترل کننده‌ی کندانسور و مخزن گاز داغ نیز می‌توانند در این سامانه نصب شوند. صرفه‌جویی‌های دیگری نیز در این راستا قابل دست‌یابی هستند، از جمله این صرفه‌جویی‌ها می‌توان به عملکرد دوره‌ای پنکه‌ها و پمپ‌ها اشاره نمود. بعضی از سامانه‌های کنترلی کندانسورهای تبخیری از یک ترموستات در سینی آب کندانسور استفاده می‌کنند. زمانی که از کندانسورهای تبخیری چندگانه استفاده می‌شود، انتخاب سینی کندانسور مناسب برای اندازه‌گیری، می‌تواند ایجاد مشکل نماید مگر این که سامانه دارای پمپ آب در داخل ساختمان باشد. حسگر دمای حباب تر، کنترل بسیار دقیق‌تری به شمار می‌آید. کنترل‌های حباب تر کندانسورهای تبخیری، گام مهمی در کاهش مصرف انرژی در سامانه‌های تبرید صنعتی به شمار می‌آیند.