جعبه‌های حجم هوا متغیر مستقل از فشار

در بسیاری از موارد، برای منطقه (زون)بندی در ساختمان‌ها، از سامانه‌های توزیع هوای «حجم هوا متغیر» (VAV) استفاده می‌شود. در این سامانه‌ها، حجم هوای توزیع شده در هر یک از مناطق، با استفاده از واحدهای پایانه‌ای تنظیم می‌گردد. این واحدهای پایانه‌ای که با عنوان «جعبه‌های حجم هوا متغیر» (VAV) شناخته می‌شوند، با پیکربندی‌های متنوعی ارایه می‌شوند. چهار مورد از متداول‌ترین انواع این جعبه‌ها عبارتند از:

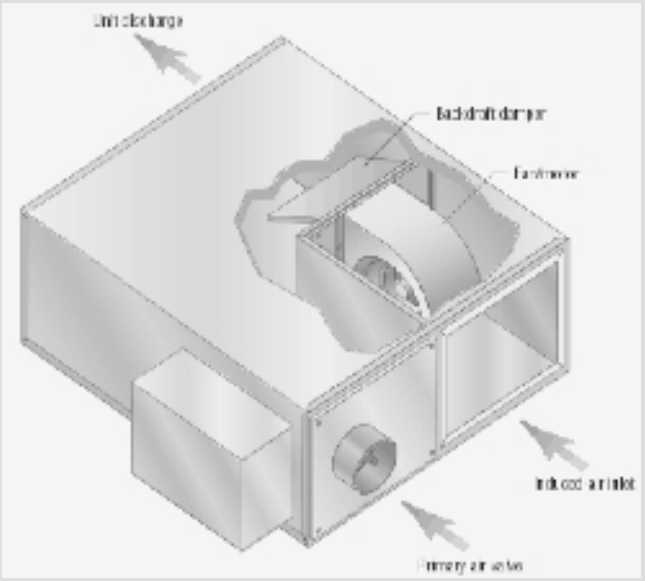
- فقط سرمایش
- فقط سرمایش همراه با گرمایش مجدد
- بادزن موازی همراه با گرمایش مجدد
- بادزن‌های سری همراه با گرمایش مجدد.

سامانه گرمایش مجدد ممکن است دارای کویل‌های آب گرم یا المنت‌های مقاومت الکتریکی باشد. اگر چه کنترل درست این واحدها کاری سر راست و مشخص است، ولی اغلب به درستی کنترل نمی‌شوند. در این مقاله سعی شده است با استفاده از یک «جعبه‌ی بادزن‌دار موازی» به عنوان یک مثال، عمومی‌ترین مشکلات مربوط به کنترل این واحدها را مورد بحث و بررسی قرار دهیم. در شکل (۱)، طرحواره‌ی یک جعبه‌ی حجم هوا متغیر بادزن‌دار موازی نشان داده شده است. این جعبه شامل یک دمپر و یک بادزن (به صورت موازی با دمپر) می‌شود و ممکن است دارای گرمایش مجدد نیز باشد. برای اندازه‌گیری جریان هوا در این واحد، از یک وسیله‌ی سنجش از نوع لوله پیتو استفاده شده است. قبل از بحث در مورد مشکلات عمومی کنترل، باید چند اصل مقدماتی در مورد کنترل این سامانه‌ها درک شود. اگر چه می‌توان اصلاحات زیادی را در ترتیب بعدی ایجاد کرد، اما روش کنترل زیر، کنترل بنیادین در سامانه‌های معمولی را که هدف این مقاله هستند، بیان می‌کند. سه ابزار کنترلی در این واحد پایانه‌ای وجود دارد، در نتیجه می‌توان سه حلقه‌ی کنترلی برای بحث مطرح کرد. این سه حلقه مطابق زیر می‌باشند:

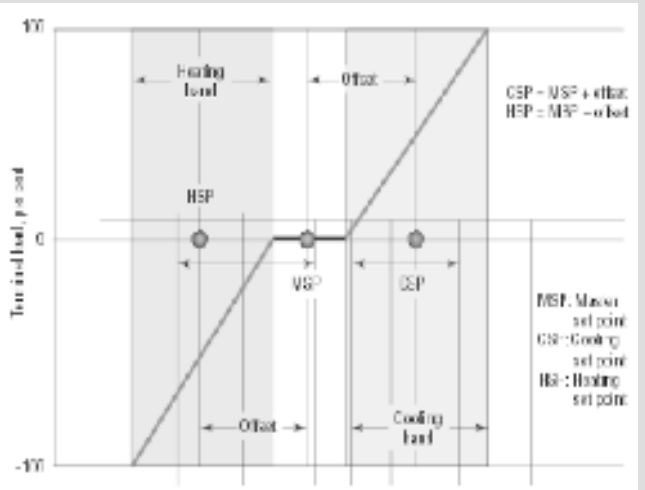
- کنترل متغیر دمپر
- کنترل دو موقعیتی بادزن
- کنترل متغیر کویل گرمایش مجدد.

در حالت سرمایش، ایده‌ی کنترل این جعبه‌ها عبارت است از تنظیم دمپر با استفاده از حلقه‌ی کنترل، به گونه‌ای که بتواند نقطه‌ی تنظیم جریان هوا را برآورده کند. این نقطه‌ی تنظیم به صورت تابعی از انحراف دمای فضا از نقطه‌ی تنظیم آن به‌عنوان بخشی از یک مدار کنترلی دیگر، محاسبه می‌شود. در حالی که دمای فضا بر اساس فعالیت این «مدار تناسبی و یکپارچه» (PI) در اطراف نقطه‌ی تنظیم نوسان می‌کند، جریان هوای ورودی به منطقه در اثر تغییرات بار در فضا، بین مقادیر حداقل و حداکثر تغییر می‌کند. در حالت گرمایش، برای حفظ نقطه‌ی تنظیم حداقل جریان هوا، معمولا دمپر (یا به تعبیری شیر هوا) کنترل می‌شود. نقطه‌ی تنظیم حداقل جریان هوا معمولا برای حفظ حداقل جریان هوای بیرون لازم برای برآورده کردن تهویه‌ی مورد نیاز در منطقه به‌کار می‌رود. حداکثر نقطه‌ی تنظیم جریان هوا با توجه به جریان هوای لازم برای ایجاد سرمایش در شرایط طراحی تعیین می‌شود. در حالت گرمایش، بادزن موازی به عنوان مرحله‌ی اول گرم کردن هوای گردشی اتاق و هوای پلنوم و مخلوط کردن آن با هوای تغذیه برای کاهش سرمایش ایجاد شده توسط هواساز مرکزی عمل می‌کند. مرحله‌ی بعدی گرم‌کردن، گرمایش مجدد است (یا مراحل گرمایش مجدد در واحدهایی که دارای چندین مرحله‌ی گرمایش مجدد برقی هستند). فرآیند کنترل کلی به‌صورت نموداری در نقشه‌ی ترمودینامیکی شکل (۲)، نشان داده شده است. در شکل (۲)، نقطه‌ی تنظیم اصلی یا MSP، نقطه‌ی تنظیم هدف میانی کلی می‌باشد. این نقطه‌ی تنظیم فقط دستور برنامه‌نویسی است و با شرایط مطلوب مطابقت ندارد. نقاط تنظیم گرمایش و سرمایش

شکل (۱)جعبه‌ی حجم هوا متغیر با بادزن دار موازی



شکل (۲)توالی کنترل جعبه‌ی حجم هوا متغیر که به صورت «نقشه‌ی ترمودینامیکی» بیان شده است



مطلوب، از شرایط اصلی استخراج می‌شوند. البته همه‌ی فروشندگان از این ایده استفاده نمی‌کنند. نقطه‌ی تنظیم سرمایش (CSP)، نقطه‌ی تنظیمی است که نقطه‌ی میانی باند سرمایش یا محدوده‌ی خفانشی برای حلقه‌ی کنترل PI برای نقطه‌ی تنظیم جریان هوا را ارایه می‌دهد. در این مثال، این نقطه با اضافه کردن موازنه (offset) از نقطه‌ی تنظیم اصلی محاسبه می‌شود. نقطه‌ی تنظیم گرمایش (HSP)، نقطه‌ی تنظیمی است که نقطه‌ی میانی باند گرمایش را ارایه می‌دهد. در این مثال، این نقطه با کم کردن موازنه از نقطه‌ی تنظیم اصلی محاسبه می‌شود. در یک کاربرد مشخص، تنظیمات دیگری نیز برای نقاط تنظیم وجود دارد. به عنوان مثال، ممکن است استفاده کننده یک کلید تنظیم موازنه (slider offset adjustment) در اختیار داشته باشد که با کمک آن بتواند نقطه‌ی تنظیم را از یک مقدار از پیش تعیین شده بالاتر یا پایین‌تر ببرد. همچنین، نقاط تنظیم را می‌توان با سایر اثرات عمومی مانند جریان‌های برقی که شرایط تقاضا را نشان می‌دهند، تنظیم کرد. در یک حالت تقاضای شدید، این سامانه ممکن است نقاط تنظیم منطقه را برای به تاخیرانداختن بار سرمایش، بالا ببرد. «درصد بار پایانه» یک مقدار محاسبه شده است که می‌تواند هواساز را به چگونگی وضعیت جعبه‌ها نسبت به نقاط تنظیم مربوطه (که ممکن است بسیار متفاوت باشند)، ارتباط دهد. بنابراین، این نقاط تنظیم را می‌توان با استفاده از موارد زیر، بیشتر اصلاح کرد:

- وضعیت سکونت (یا «پس تنظیم (Setback)» شبانه، حالت اقتصادی)
- موازنه توسط کاربر (اصلاح نقطه‌ی تنظیم توسط کاربر، کلید گرم‌تر/سردتر)
- موازنه بر اساس تقاضا (اصلاح نقطه‌ی تنظیم کلی با توجه به کنترل تقاضای انرژی).

هیچ زبان استانداردی برای نقاط تنظیم و عبارت‌های مرتبط بالا در میان فروشندگان وجود ندارد. بعضی از آن‌ها از روشی مشابه یکی از روش‌های بالا برای توصیف این عبارت‌ها استفاده می‌کنند. سایرین، فقط نقاط تنظیم گرمایش و سرمایش و باندهای مربوطه یا محدوده‌های خفانشی را بیان می‌کنند. همچنین آن‌ها ممکن است بعضی از باندهای کور (deadband) بین گرمایش و سرمایش را توصیف کنند.

سه مشکل عمومی

موارد زیر سه مورد از معمول‌ترین مشکلات مشاهده شده در زمینه‌ی تنظیم و کنترل واحدهای پایانه‌ی حجم هوا متغیر می‌باشند:

- کنترل بیش از حد است (کاربرد نامناسب پاسخ کنترلی)
- باندهای سرمایش و گرمایش بیش از اندازه نزدیک به هم برنامه‌ریزی شده‌اند.
- نقاط تنظیم حداقل جریان هوا بیش از اندازه پایین است (از نظر اندازه‌گیری).

کنترل بیش از حد: در بیشتر موارد، برای این واحدهای پایانه‌ای، کنترل PI تعیین و به کار گرفته می‌شود. اگر از کنترل PI استفاده شود، باید آن را با یک باند کور برنامه‌ریزی کرد تا حلقه‌ی کنترل را از تلاش برای کنترل بیش از حد دقیق کاربرد باز دارد. به عنوان مثال، اگر دمای منطقه نزدیک نقطه‌ی تنظیم باشد و نقطه‌ی تنظیم جریان هوا ۱۰۰۰ cfm محاسبه شده باشد، یک حلقه‌ی کنترل PI که فاقد باند کور نقطه‌ی تنظیم باشد، تلاش می کند تا ۱۰۰۰ cfm را کنترل کند و موقعیت کارانداز (actuator) را به طور مداوم تغییر می‌دهد، حتا اگر جریان هوای واقعی تنها به اندازه‌ی یک یا دو cfm کم یا زیاد شده باشد. باند کور باید بزرگ‌تر از دقت/تفکیک‌پذیری ترکیب حسگر/مبدل/کنترل کننده باشد. بنابراین، دقت مقادیر cfm واقعی خوانده شده را بررسی کنید. مقدار جریان هوای واقعی به صورت تابعی از فشار سرعتی (VP) اندازه‌گیری می‌شود. فشار سرعتی به صورت اختلاف بین فشار کل که توسط یک ابزار سنجش جریان از نوع لوله پیتو اندازه‌گیری می‌شود و نقطه‌ی تنظیم فشار استاتیک

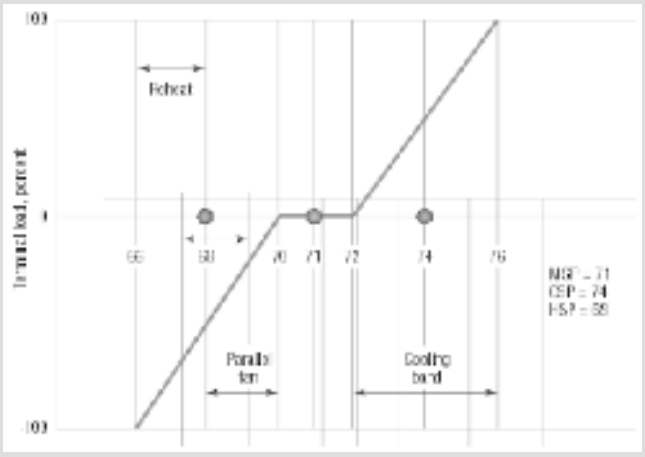
محاسبه می‌شود. این اختلاف فشار به یک سیگنال الکتریکی قیاسی (آنالوگ) تنظیم شده تبدیل می‌شود و توسط یک سامانه DDC (یک سامانه تبدیل کننده‌ی جریان‌های الکتریکی آنالوگ به سیگنال‌های دیجیتالی) به سیگنال دیجیتال تبدیل می‌شود. فشار سرعتی معمولا کمتر از ۰،۱in .wg می‌باشد. جریان هوای محاسبه شده تابعی از فشار سرعت اندازه‌گیری شده، مساحت سطح مقطع کانال و چیدمان فیزیکی جعبه (که با یک ضریب جعبه بیان می‌شود) می‌باشد و از طریق معادله‌ی زیر محاسبه می‌شود:

ضریب جعبه × مساحت سطح مقطع کانال × جذر فشار سرعت = نرخ جریان هوا

اگر فشار سرعتی به اندازه‌ی in.wg- ۰،۰۰۱تغییر کند، منجر به یک اختلاف ۲۵ تا ۵۰cfm در جعبه خواهد شد. اگر این مقدار به اندازه‌ی دقت/تفکیک پذیری حسگر فشار سرعت باشد، آن گاه حسگر نمی‌تواند آن را ردیابی کرده و در نتیجه کنترل‌کننده نمی‌تواند بیش از اندازه دقیق عمل نماید. در نتیجه، جابه‌جایی‌های غیرضروری کارانداز در طول روز شاید به اندازه‌ی صدها یا هزاران مرتبه کاهش یافته و عمر کارانداز بیشتر خواهد شد. اگر از کنترل PI استفاده می‌شود، باند کور نقطه‌ی تنظیم جریان هوا باید کمی بزرگ‌تر از درجه‌ی دقت خود جعبه باشد. از سویی دیگر، فرض کنید که از یک نوع سامانه کنترل نوع شناوری استفاده کرده‌اید، که در آن نقطه‌ی تنظیم جریان هوا اجازه دارد حول یک نقطه‌ی مورد نظر به علاوه یا منهای باند کور، متغیر باشد. به عنوان مثال، اگر نقطه‌ی تنظیم جریان هوا به اندازه‌ی ۱۰۰۰ cfm محاسبه شده باشد، یک حلقه‌ی کنترل شناور با یک باند کور ۵۰ cfm، تا زمانی که جریان هوای اندازه‌گیری شده بین ۹۷۵ تا ۱۰۲۵ cfm باشد، کارانداز را جابه‌جا نخواهد کرد. اگر نرخ جریان هوا از این محدوده بالاتر یا پایین‌تر برود، کارانداز موجب باز یا بسته شدن دمپر می‌شود تا زمانی که جریان هوای اندازه‌گیری شده در این محدوده قرار گیرد. بعضی از تولیدکنندگان، موفق شده‌اند کنترل کننده‌هایی را بر روی جعبه‌های حجم هوا متغیر سوار کنند که بر حسب این که مقدار اندازه‌گیری شده در کجا متناسب با نقطه‌ی تنظیم باشد، می‌تواند از پاسخ‌های کنترل چند گانه استفاده کند (تناسبی، PI، فقط یکپارچه و یا شناور).

سرمایش در برابر گرمایش: یکی دیگر از مشکلات عمومی، تنظیم جعبه به گونه‌ای است که باندهای سرمایش و گرمایش بیش از اندازه به هم نزدیک شوند. نقشه‌ی ترمودینامیکی شکل (۳) را به عنوان مثال در نظر بگیرید. در این مورد، حلقه‌ی سرمایش برای برآورده کردن تقاضای حرارتی، از طریق یک حلقه‌ی کنترل، جریان هوا را از مقدار حداقل تا حداکثر کنترل می‌کند تا نقطه‌ی تنظیم دمای ۷۴ °F را به دست آورد. حلقه‌ی گرمایش، بادزن موازی را در دمای ۷۰ °F و گرمایش مجدد ۶۸ °F راه می‌اندازد. برای پایدار ماندن کنترل، باندهای سرمایش و گرمایش باید ۳ تا ۴ °F باشند و یک باند کور ۲ °F بین آن‌ها برای کنترل پایدار

شکل (۳)



ضرورت دارد. در بسیاری از مواقع، جعبه با نقطه‌ی تنظیم گرمایش بالاتر و نقطه‌ی تنظیم سرمایش پایین‌تر تنظیم می‌شود، در نتیجه باندهای سرمایش، باندهای گرمایش و باندهای کور کاهش می‌یابند به گونه‌ای که بیش از حد کوچک شده و موجب می‌شوند کنترل حساس‌تر شده یا باندهای سرمایش و گرمایش با هم در «ستیز» باشند. اگر از یک حسگر نوع smartstat استفاده شود (با موازنه‌ی ساکنان)، آن گاه باید دامنه‌ی نقاط تنظیم باز گذاشته شود تا ساکنان اجازه داشته باشند نقشه‌ی ترمودینامیکی را با توجه به نیازهای خودشان تنظیم کنند. اگر دامنه‌ی موازنه‌ای که در اختیار استفاده کننده قرار دارد در حدود ۲ °F+/- باشد، ساکنان می‌توانند نقطه‌ی تنظیم سرمایش را بین ۷۲ تا ۷۶ °F و نقطه‌ی تنظیم گرمایش را بین ۶۶ تا ۷۰ °F، تنظیم کنند. از سویی دیگر، اگر فقط یک حسگر معمولی در فضا وجود داشته باشد، هر کسی ممکن است نیاز داشته باشد بسته به این که در حالت سرمایش یا گرمایش قرار داشته باشد، یک جابه‌جایی در نقطه‌ی تنظیم را مطابق با آن برنامه‌ریزی کند.

نقطه‌ی تنظیم حداقل نرخ جریان هوا بیش از حد پایین است. یک مشکل رایج دیگر آن است که نقاط تنظیم حداقل، کمتر از آنچه که نسبت به توانایی ابزار اندازه‌گیری فشار سرعتی منطقی است، تنظیم شده‌اند. معمولا، این ابزار می‌تواند فشار سرعت را با دقت به نسبت خوبی در حد in.wg ۰،۰۴ بخواند. نقطه‌ی تنظیم حداقل، باید بر روی نقطه‌ی تنظیم جریان هوای حداقل محاسبه شده تنظیم شود تا بتواند هوای تهویه‌ی لازم یا پایین‌ترین مقدار قابل اندازه‌گیری را تامین نماید. بیشتر اوقات، نقاط تنظیم نرخ جریان هوای حداقل، به گونه‌ای تنظیم می‌شوند که در in.wg ۰،۰۲ یا کمتر کنترل شوند. در نتیجه کنترل در این جریان‌های کم ناپایدار شده و کارانداز به صورتی غیرضروری جابه‌جا می‌شود.

جمع‌بندی

سه مشکلی که معمولا در تنظیم و کنترل واحدهای پایانه‌ای حجم هوا متغیر مشاهده می‌شود عبارتند از:

- کنترل بیش از حد، که موجب کاربرد نامناسب پاسخ کنترل و فعالیت بیش از حد کارانداز می‌شود.
- باندهای سرمایش و گرمایش آنقدر نزدیک به هم برنامه‌ریزی شده‌اند که برای کنترل باید با یکدیگر «ستیز» نمایند.
- نقاط تنظیم نرخ جریان هوای حداقل بیش از حد پایین تنظیم شده است، که موجب جابه‌جایی بیش از اندازه‌ی کارانداز می‌شود.

اگر این سه مورد به طور صحیحی در جعبه‌های حجم هوا متغیر مورد توجه قرار گرفته و تنظیم شوند، موجب می‌شوند عملیات کنترل موثرتر و پربازده‌تر باشد و عمر کارانداز نیز افزایش یابد.