

کنترل دما در مبدل های حرارتی – قسمت دوم

شرکت پارس جم کنترل

نویسنده مقاله: مهندس ایمان رزمی

اکثر روشهای کنترل دما که در شماره پیشین به استحضار خوانندگان محترم رسید، نیاز به شیر کنترل دو راهه ای داشتند که یا در ورودی بخار مبدل حرارتی صفحه ای ، و یا در خروجی کندانس قرار می گرفت.

- در صورتیکه این شیر در ورودی بخار نصب شود، هدف کنترل میزان و فشار بخار ورودی به مبدل حرارتی است.
- در صورتیکه این شیر در خروجی کندانس نصب گردد، کنترل سطح کندانس درون مبدل حرارتی مورد نظر می باشد.

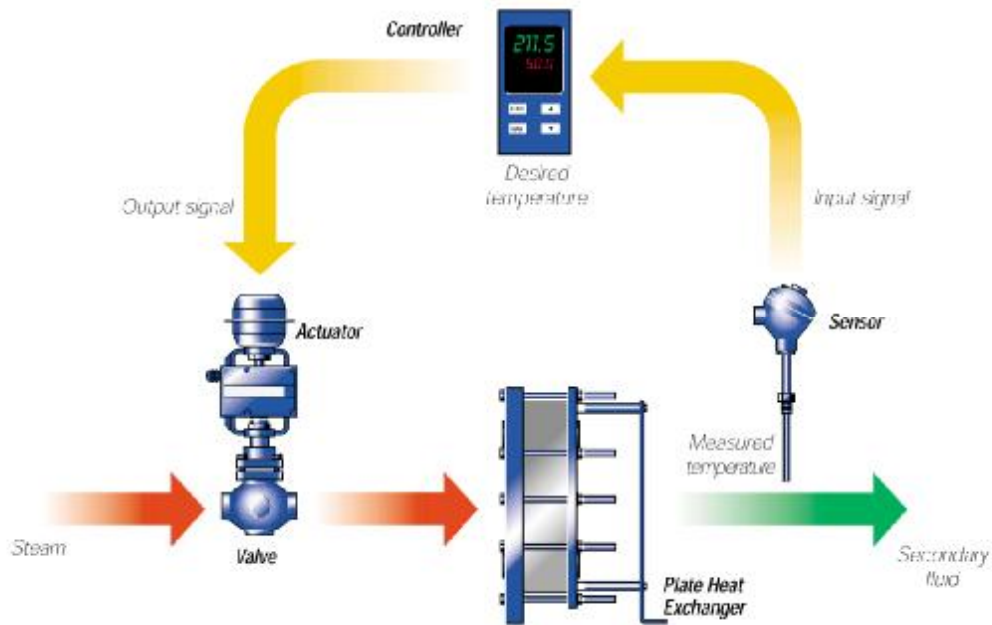
معمولا ترکیب بندی اول یکی از متداول ترین روش های نصب کنترل دمای خودکار بر روی مبدل های حرارتی صفحه ایست.

نیازمندیهای کنترل

سیستم کنترل خودکاری که بطور صحیح انتخاب، اندازه گذاری و نصب شده است، می بایست تحت شرایط کاری معمول، کنترلی دقیق، قابل پیش بینی و پایدار انجام دهد. در صورت لزوم نیز می تواند به کنترل فرآیند موجود در سایت یا سیستم داده گیری متصل شود.

اجزاء سیستم کنترل

سیستم کنترل دمای خودکار ساده ای که برای کنترل دمای خروجی جریان گرم شونده مبدل حرارتی صفحه ای مناسب باشد، از اجزاء نشان داده شده در شکل 1 تشکیل شده است.



شکل 1. اجزاء یک سیستم کنترل خودکار دما (حلقه بسته ساده)

- حسگر¹ - این ابزار دمای حقیقی جریان گرم شونده را اندازه گیری کرده و اطلاعات مربوط را بوسیله سیگنال به کنترلر² ارسال می کند.
- کنترلر - این دستگاه اطلاعات دریافتی از حسگر را با اطلاعات از پیش ذخیره شده دمای مطلوب مقایسه و در نتیجه دستوراتی را بصورت سیگنال خروجی به محرک شیر³ ارسال می نماید.
- شیر و محرک شیر - محرک شیر بخار را مطابق با سیگنالی که از کنترلر دریافت می کند باز و بسته خواهد کرد.

هریک از اجزاء سیستم کنترل می باید به دقت انتخاب شوند تا اطمینان حاصل شود مکمل یکدیگرند، و کل سیستم نیز می باید برای حصول عملکرد بهینه طراحی گردد. ارائه تمام اطلاعات لازم جهت فراگیری فرآیند انتخاب و بکارگیری اجزاء سیستم کنترل دما خارج از حوصله این مقاله است. هرچند که در بخش های ذیل به بحث درباره برخی اطلاعات پایه ای تعدادی از اجزاء و روشهای ساده اندازه گذاری سیستم با استفاده از نصب شیر کنترل⁴ در ورودی بخار خواهیم پرداخت.

شیر کنترل

تمام شیرهای کنترل مشخصه ای ذاتی دارند که تعیین کننده ارتباط بین بازشدگی شیر و نرخ جریان در اختلاف فشاری ثابت است. به عبارت دیگر، این مشخصه مربوط به میزان جریان است که این مقدار بازشدگی شیر اجازه عبور را به آن می دهد.

¹ sensor

² controller

³ actuator

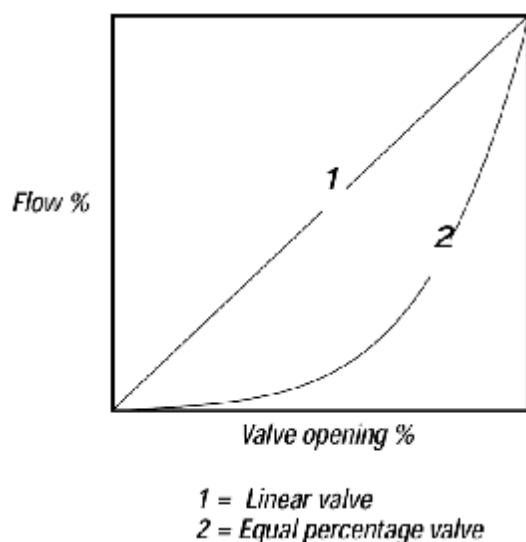
⁴ Control valve

معمولا قابلیت استفاده از چندین نوع پلاگ⁵ در شیرهای کف فلزی⁶ وجود دارد. دو نوع اصلی این پلاگها با نام "خطی"⁷ و "درصد ثابت"⁸ (یا لگاریتمی) شناخته می شود.

طراحی پلاگ های نوع خطی بگونه ای است که نرخ جریان مستقیما با بازشدگی شیر تناسب دارد. با 25% باز شدن شیر، 25% کل جریان از شیر عبور می کند و با 50% باز شدن شیر، 50% کل جریان از شیر عبور می کند و ...

طراحی نوع پلاگ های درصد ثابت به شکلی است که میزان مشخص از بازشدگی شیر نرخ جریان را به میزان درصدی ثابت از جریان پیشین افزایش می دهد. برای مثال، اگر در 20% بازشدگی نرخ جریان 4% جریان کل باشد، افزایش بازشدگی شیر تا 30% جریان پیشین را 50% افزایش داده و به 6% جریان کل می رساند؛ بدین معنی که جریان کل عبوری 2% افزایش یافته است. بازشدگی بیشتر شیر به 40% جریان را 3% (50% از 6%) افزایش خواهد داد و به 9% جریان کل خواهد رساند.

مشخصه جریان شیرهای خطی و درصد ثابت در شکل 2 نمایش داده شده است.



شکل 2 - منحنی های مشخصه جریان

همانطور که پیشتر توضیح داده شد، فشار بخار در یک مبدل حرارتی ثابت نیست و با بار حرارتی تغییر می کند. با تغییر افت فشار در طول شیر، رابطه بین جریان و بازشدگی شیر نیز تغییر می یابد. از رابطه نهایی بازشدگی شیر و خروجی مبدل حرارتی اغلب با عنوان مشخصه سیستم یا مشخصه نصب یاد می شود.

در شیرهای کنترل بخار، نسبت تقلیل فشار در جریان کامل عامل مهمی در تعیین مشخصه سیستم است. نسبت تقلیل فشار بصورت افت فشار در شیر کنترل (Δp) تقسیم بر فشار مطلق بالادست شیر کنترل (p_1) تعریف می شود.

⁵ plug

⁶ Globe valve

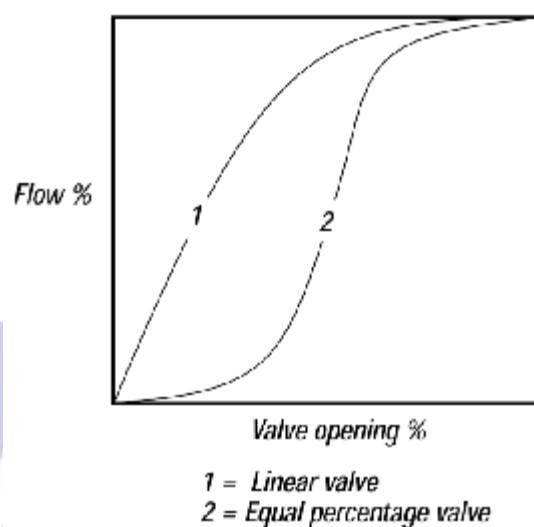
⁷ linear

⁸ Equal percentage

$$\text{تقلیل فشار} = \frac{\Delta p}{p_1}$$

هنگامیکه نسبت تقلیل فشار به حدود 0/46 می رسد، بخار مابین نشیمنگاه و پلاگ شیر با سرعت صوت در حال عبور است. در این حالت فشار پایین دست نشیمنگاه شیر 54% فشار بالادست است که به آن فشار بحرانی⁹ گفته می شود. تقلیل فشار شیر در این حالت را تقلیل فشار بحرانی گویند.

شکل 3، دو نمونه از مشخصه سیستم را برای شیرهای خطی و درصد ثابت در نسبتهای تقلیل فشار کم مانند 0/1-0/2 نشان می دهد.



شکل 3- نمونه ای از مشخصه سیستم در شیرهایی با افت فشار کم

شرایط جریان بحرانی

در صورت استفاده از مبدل حرارتی با سطوح حرارتی بیش از حد نیاز و یا در صورت اعمال درصد کمی از بارهای حرارتی فرآیند، ممکن است فشار پایین دست شیر کمتر از فشار بحرانی شده و افت فشار ثابت و ملموسی در شیر کنترل مشاهده شود.

بدین صورت، مشخصه سیستم مشابه مشخصه شیر کنترل خواهد بود. بنابراین، با اندازه گذاری شیر کنترل برای افت فشار بحرانی، یا نزدیک آن، مشخصه سیستم مطلوبی چه برای شیر کنترل خطی و چه برای درصد ثابت بدست خواهد آمد. به عنوان یک راهنمایی ساده می توان نسبت حدودی تقلیل فشار 0/4 را برای حصول مشخصه مطلوب پیشنهاد داد.

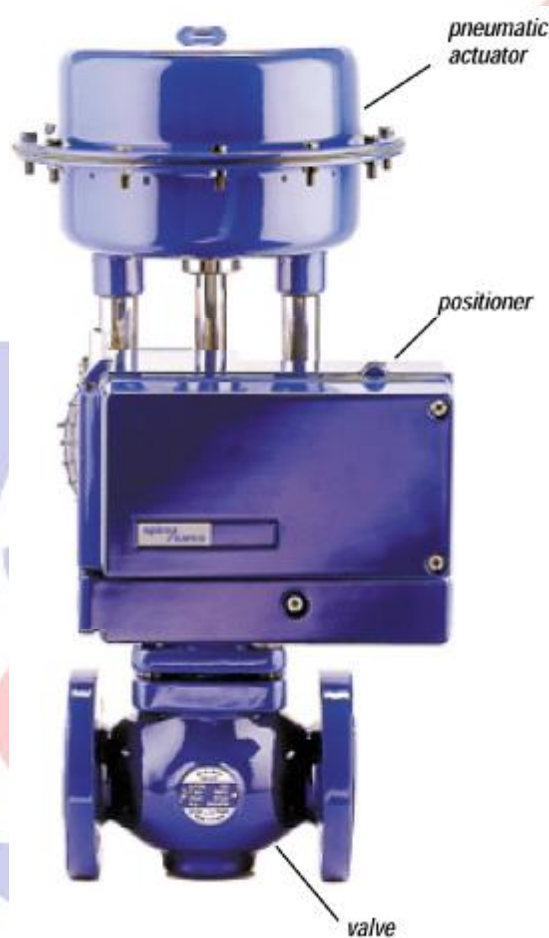
⁹ Critical pressure

انتخاب مشخصه شیر کنترل

استفاده از شیرهای کنترل با ویژگی کنترل خطی در کاربردهایی با میزان گذر ثابت جریان در مدار ثانویه، می تواند انتخاب مناسبی محسوب شود. به عنوان نمونه، از شیر خطی می توان جهت گرمایش ساختمانها به خوبی استفاده کرد.

در کاربردهایی که بار حرارتی با تغییر جریان در طرف گرم شونده تغییر می کند، شیر کنترل با مشخصه درصد ثابت عملکرد مطلوبی خواهد داشت.

شیر درصد ثابت همچنین در کاربردهای گرمایشی نظیر مخازن دو جداره و یا استفاده جهت کنترل بارهای کم، مناسب است.



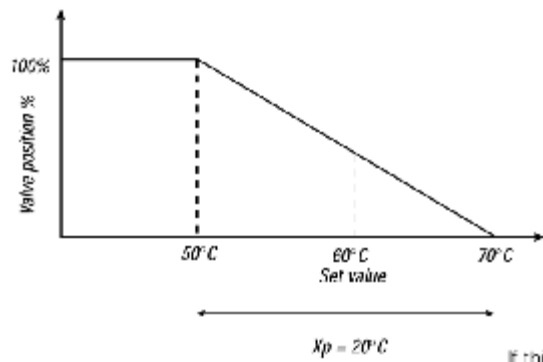
شکل 4- شیر با محرک نیوماتیک¹⁰ و پوزیشنر¹¹

باند تناسبی کنترلر

پایه ای ترین روش کنترل تدریجی، روش تناسبی است که آن را با حرف P نمایش می دهند. در این مدل کنترل، شیر رفتاری تصحیحی داشته و متناسب با انحراف دمایی که بوجود می آید عمل می کند.

¹⁰ pneumatic
¹¹ positioner

برای مثال، یک سیستم گرمایش آب را در نظر بگیرید که از کنترلی با عملکرد تناسبی استفاده می کند. دمای مطلوب 60 درجه سانتیگراد و باند تناسبی، X_p ، 20 درجه سانتیگراد تنظیم شده است. هنگامیکه دما به زیر دمای مطلوب کاهش یابد، کنترلر به شیر کنترل سیگنالی می فرستد تا بازتر شود. شیر به مقداری باز می شود که نرخ حرارت ورودی متناسب با کاهش دما تغییر کند. اما دمای واقعی کمی پایین تر از دمای مطلوب خواهد بود. به انحراف پایدار از این دمای مطلوب آفست¹² گویند و خاصیتی ذاتی در تمام کنترلرهای تناسبی است.



شکل 5- کنترل تناسبی

باند P محدودتر منتج به نمودار پرشیب تری خواهد شد. بدین معنی که با تغییر کوچکی در دما، شیر جابجایی بیشتری خواهد داشت. باند P صفر منتج به عملکرد کنترلی روشن/خاموش می شود. باند تناسبی بسیار محدود نوسان و کنترل ناپایدار ایجاد می کند.

باند P (Pb) را اغلب درصد محدوده¹³ کنترلر، یا همان تفاوت بین بیشینه و کمینه تنظیمات دمای مطلوب، می نامند. بطور مثال، کنترلی دارای باند تناسبی 20 درجه سانتیگراد و محدوده 200 درجه سانتیگراد است، که درصد باند تناسبی آن 10% می شود. در برخی از کنترلرها مقدار معکوس این درصد باند P استفاده می شود که به آن بهره¹⁴ (K_p) گفته می شود و رابطه آن با باند P بدین گونه است:

$$K_p = \frac{100\%}{Pb\%}$$

در مثال فوق، بهره K_p برابر با 10 است.

سیگنال تصحیحی S از یک کنترلر تناسبی را می توان بدین صورت نمایش داد:

$$S = \frac{e(\tau)}{Pb} = K_p \cdot e(\tau)$$

¹² offset

¹³ span

¹⁴ gain

که $e(\tau)$ انحراف در لحظه ای مشخص است.

عملکرد انتگرالی¹⁵

وظیفه عملکرد انتگرالی حذف انحراف پایدار از طریق ارسال سیگنالی تصحیحی است و متناسب است با حاصلضرب انحراف در مدت زمانی که انحراف وجود دارد. سیگنال تصحیحی S عملکرد انتگرالی بدین صورت است:

$$S = \frac{1}{T_1} \int_{t_0}^t e(\tau) \cdot d(\tau)$$

که $e(\tau)$ انحراف در لحظه ای مشخص بوده و T_1 پارامتر قابل تنظیم، زمان انتگرال، و در واحد زمان است.

در صورتیکه این پارامتر بسیار کوچک باشد، سیگنال تصحیحی بزرگ خواهد بود و نتیجتاً باعث عکس العمل شدید و ناپایداری خواهد شد. از طرفی دیگر، زمان انتگرالی بسیار طولانی سیگنال تصحیحی بسیار ضعیفی ایجاد خواهد کرد و تقریباً عملکرد انتگرالی موثری پدید نخواهد آمد.

عملکرد مشتقی¹⁶

عملکرد مشتقی نرخ تغییرات انحراف را رصد کرده و سیگنالی تصحیحی متناسب با نرخ تغییر انحراف تولید می کند. سیگنال تصحیحی S حاصل از عملکرد مشتقی را می توان بدین صورت نشان داد:

$$S = T_D \cdot \frac{de(\tau)}{dt}$$

که $\frac{de(\tau)}{dt}$ نرخ تغییر انحراف در لحظه ای مشخص و T_D پارامتر قابل تنظیم، زمان مشتق، و در واحد زمان است.

بنابراین، هنگامیکه انحراف به سرعت افزایش می یابد، عملکرد مشتقی سیگنال تصحیحی بزرگی ایجاد می کند و هنگامیکه انحراف ثابت است، هیچ سیگنال تصحیحی ای بوجود نمی آید.

عملکرد مشتقی در فرآیندهایی سودمند است که بار به سرعت تغییر می کند و موجب تسریع در حرکت شیر می شود.

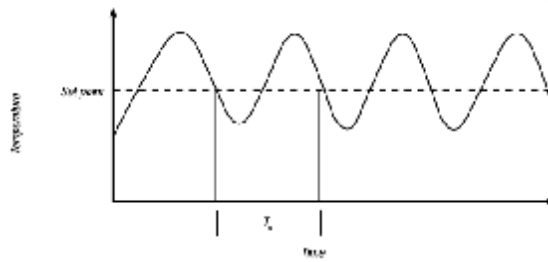
انتخاب تنظیمات برای پارامترهای PID

هر کنترلر را می بایست بصورت مجزا برای هماهنگ شدن با مشخصه های سیستم تنظیم کرد. برای داشتن کنترلی پایدار و سریع تکنیکهای متعددی وجود دارد.

¹⁵ Integral action

¹⁶ Derivative action

روش پاسخ فرکانسی زیگلر-نیکولز¹⁷ روشی سودمند و بسیار موثر در ایجاد تنظیمات کنترلر است. برای رسیدن به نقطه ناپایداری، روش مذکور از کنترلر به عنوان آمپلیفایر استفاده می کند. در این نقطه تمام سیستم بگونه ای عمل می کند که دما حول دمای مطلوب با دامنه ای مشخص در حال نوسان است، (شکل 6). افزایش کوچک بهره یا کاهش باند تناسبی، سیستم را ناپایدار کرده و شیر کنترل شروع به باز و بسته شدن سریع¹⁸ خواهد کرد. از سوی دیگر، افزایش باند تناسبی پروسه را پایدارتر کرده و دامنه نوسانات را کاهش خواهد داد. در نقطه ناپایداری، مشخصه سیستم برای شرایط کارکرد واقعی شامل مبدل حرارتی، شیر کنترل، محرک شیر، لوله، حسگر دما و غیره بدست می آید. تنظیمات کنترلر به کمک روش زیگلر-نیکولز و با خواندن دوره های زمانی، T_n ، سیکلهای دما و باند تناسبی واقعی در نقطه ناپایداری مشخص می شود.



شکل 6 - ناپایداری ناشی از افزایش بهره کنترلر، بدون عمل I (انتگرالی) و D (مشتقی)

مراحل کار بدین شرح است:

1. عملکرد انتگرالی کنترلر را با افزایش زمان انتگرال T_I به بیشینه آن، حذف کنید.
2. عملکرد مشتقی کنترلر را با تنظیم زمان مشتق T_D بر روی صفر، حذف کنید.
3. صبر کنید تا پروسه به شرایط پایدار برسد.
4. باند تناسبی را تا زمانی که به نقطه ناپایداری برسید، کم کنید (افزایش بهره).
5. زمان یک دوره، T_n ، را اندازه گرفته و P_b واقعی کنترلر را بر مبنای آن تنظیم کنید.
6. با استفاده از این تنظیم به عنوان نقطه مبدا، تنظیمات مناسب کنترلر را بر طبق جدول 1 محاسبه نمایید.

	Proportional Band	Integral Time	Derivative Time
P+I+D Control	$P_b \times 1.7$	$T_n / 2$	$T_n / 8$
P+I Control	$P_b \times 2.2$	$T_n / 1.2$	
P Control	$P_b \times 2$		

جدول 1 - محاسبه زیگلر-نیکولز

این تنظیمات کنترلر را می توان برای افزایش پایداری یا پاسخ تعدیل کرد. در جدول 2، تاثیر تغییر تنظیمات پارامترهای PID بر روی پایداری و پاسخ کنترلر نشان داده شده است.

¹⁷ Ziegler-Nicholls

¹⁸ hunting

	Stability	Response
Increase P_b	Increased	Slower
Increase T_i	Increased	Slower
Increase T_D	Increased	Faster

جدول 2 - تاثیر تغییر تنظیمات PID

بدست آوردن کنترل مناسب برای کل سیستم

تقریباً در تمامی زمینه های مهندسی، طراحی سیستم با اعمال درصدی از ضریب اطمینان انجام می پذیرد. در کاربردهای مبدل حرارتی بخار، مبدلهای حرارتی و شیرهای کنترل با اندازه بزرگتر از حد نیاز نقش ضریب اطمینان را جهت بار حرارتی ایفا می کنند. اما در اغلب موارد این ضرایب اطمینان رسیدن به عملکرد از پیش تعیین شده در زمان طراحی را مشکل و یا حتی غیر ممکن می سازند.

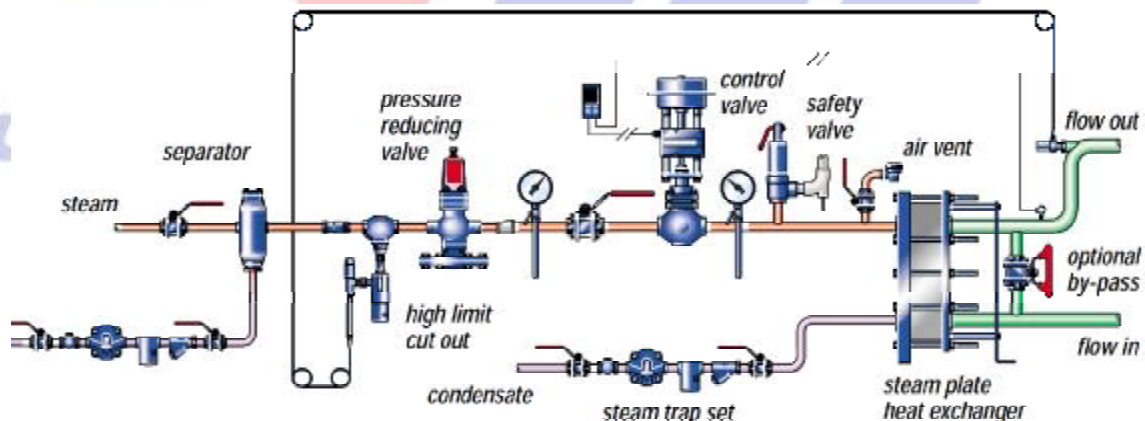
به عنوان مثال می توان به یکی از موارد عملکرد کنترل اشاره کرد که یک شیر کنترل با سایز بیش از اندازه می تواند نوسانات دمایی و اضافه جهش دما و غیره را ایجاد کند.

برای پیشگیری از مشکلات مشابه، طراحی دقیق کل سیستم بخار بسیار مهم است. سوالی که باقی می ماند این است که پس چگونه یک مهندس می تواند ضریب اطمینان را در زمان طراحی لحاظ کند؟ پاسخ به سادگی استفاده از شیر فشارشکن می باشد.

نصب یک شیر فشارشکن در بالادست شیر کنترل دما دو مزیت عمده دارد. اول از همه، ظرفیت شیر کنترل دما بر راحتی با تغییر فشار بالادست قابل تغییر است و در نتیجه ظرفیت مبدل حرارتی نیز با تغییر تفاوت دمای ایجاد شده در اثر تغییر فشار، افزایش یا کاهش می یابد.

ثانیا، با انتخاب فشار بخار بخصوصی در بالادست شیر کنترل، شیر بیش از حد بزرگ نبوده و نهایتاً از تمام کورس شیر استفاده خواهد شد.

بنابراین، استفاده از شیر فشار شکن جهت یک یا چند مصرف کننده مشابه قابل درک و توجیه است.



شکل 7 - نمونه کاملی از تجهیزات کنترل دما و فشار یک مبدل حرارتی

خوانندگان محترم می توانند جهت دریافت اطلاعات تکمیلی با شماره تلفن های 24-88708223 و یا پست الکترونیک

info@pars-jam.com تماس حاصل نمایند.