مرجع کاربردی

بویلرهای آب‌گرم و بخارصنعتی

مؤلفان:
مهنـــدس علـــی فاضـــل
مهندس پیمان ابراهیمی
دانش‌پژوه دکتـری مهندسی مکانیک
مدرس رسمی سازمان نظام مهندسی

www.noavarpub.com

بسم الله الرحمن الرحیم

مرجع کاربردی
بویلرهای آب‌گرم و بخارصنعتی

مؤلفان:
مهندس علی فاضل
مهندس پیمان ابراهیمی
دانش‌پژوه دکتری مهندسی مکانیک
مدرس رسمی سازمان نظام مهندسی

سرشناسه	: فاضل، علی، ۱۳۶۱ -
عنوان و نام پدیدآور	: مرجع کاربردی بویلرهای آب گرم و بخار صنعتی
مشخصات نشر	: تهران : نوآور، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری	: ۴۸۸ ص.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۲۰۹-۴
وضعیت فهرست نویسی	: فیپای مختصر
یادداشت	: این مدرک در آدرس http://opac.nlai.ir قابل دسترسی است.
شناسه افزوده	: ابراهیمی‌ناغانی، پیمان، ۱۳۵۴ -
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۶۳۰۶۲۵

مرجع کاربردی بویلرهای آب گرم و بخار صنعتی

مؤلفان:	مهندس علی فاضل ـ مهندس پیمان ابراهیمی
ناشر:	نوآور
شمارگان:	۱۰۰۰ نسخه
مدیر تولید:	محمدرضا نصیرنیا
نوبت چاپ:	اول ـ ۱۳۹۳
شابک:	۹۷۸ـ۶۰۰ـ۱۶۸ـ۲۰۹ـ۴

نشرنوآور

قیمت به همراه DVD: ۳۰۰۰۰ تومان

نمایشگاه دائمی و مرکز فروش:

نوآور: تهران ـ خ انقلاب، خ فخررازی، خ شهدای ژاندارمری نرسیده به خ دانشگاه ساختمان ایرانیان، پلاک ۵۸، طبقه دوم، واحد ۶

تلفن: ۹۲ ـ ۶۶۴۸۴۱۹۱

www.noavarpub.com

فروشگاه ۱: تهران خ انقلاب، نبش خ ۱۲ فروردین پلاک ۱۳۱۰، کتابفروشی الیاس تلفن: ۶۶۹۵۵۸۷۸ - ۶۶۴۰۵۰۸۴

فروشگاه ۲: تهران خ انقلاب، مقابل دانشگاه تهران، جنب بانک ملت، پلاک ۱۲۱۲، کتابفروشی گوتنبرگ تلفن: ۶۶۴۱۳۹۹۸-۶۶۴۰۲۵۷۹

فروشگاه ۳: تهران خ انقلاب، بین خ ۱۲ فروردین و اردیبهشت، پلاک ۱۳۱۲، کتابفروشی صانعی تلفن: ۶۶۴۰۹۹۲۴ - ۶۶۴۰۵۳۸۵

فروشگاه ۴: اصفهان، م انقلاب، خ چهار باغ عباسی ابتدای خ سید علی خان، کتابفروشی مهرگان تلفن: ۰۳۱۱۲۲۱۳۷۵۱

فروشگاه ۵: تبریز، خ امام، فلکه دانشگاه، اول خ دانشگاه، کتابفروشی علامه تلفن: ۰۴۱۱۳۳۴۱۶۶۹ ـ ۰۴۱۱۳۳۴۱۹۸۶

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و مصنفان مصوب سال ۱۳۴۸ برای ناشر محفوظ و منحصراً متعلق به نشر نوآور می‌باشد. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از این کتاب (از قبیل هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، عکس‌برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع انتشار به صورت اینترنتی، سی دی، دی وی دی، فیلم فایل صوتی یا تصویری و غیره) بدون اجازه کتبی از نشر نوآور ممنوع بوده و شرعاً حرام است و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

فهرست مطالب

مقدمهٔ ناشر ۴
مقدمه ۵
پیشگفتار ۶
فصل اول: اصول مکانیکی ۷

بخش اول: آب‌گرم ۱۴
فصل ۲: بویلرهای آب‌گرم و آب‌داغ ۱۵
فصل ۳: کاربرد بویلرهای آب‌گرم و آب داغ ۲۸
فصل ۴: شبکه توزیع آب‌گرم ۵۶

بخش دوم: بخار ۸۸
فصل ۵: بخار و انواع آن ۸۹
فصل ۶: انواع دیگ‌بخار ۱۰۷
فصل ۷: آتشکاری، سوخت و مشعل ۱۲۳
فصل ۸: تصفیه آب بویلر ۱۷۵
فصل ۹: زیر آب زنی ۲۰۷
فصل ۱۰: راندمان ۲۱۹
فصل ۱۱: کیفیت بخار ۲۴۴
فصل ۱۲: انتقال بخار ۲۶۲
فصل ۱۳: تجهیزات و شیرآلات ۲۸۳
فصل ۱۴: کندانس ۳۹۵
فصل ۱۵: پمپ در دیگ خانه ۴۱۱
فصل ۱۶: نکات اجرایی ۴۳۱
فصل ۱۷: ضمائم ۴۵۲
جداول بخار اشباع و سوپرهیت براساس SI، US : ۴۵۶
منابع ۴۸۶

مقدمهٔ ناشر

همسو نبودن صنعت و علوم دانشگاهی در کشورمان سبب گشته عده کثیری از مهندسان و کاربران بویلرهای آب‌گرم و بخار صنعتی برای راهبری، تعمیر و نگهداری بویلر و تجهیزات دیگ‌خانه به منابع کاربردی مناسب دسترسی کافی نداشته باشند.

کتاب پیشرو با توجه به این مهم و در همین حوزه به صورت کاملاً کاربردی نگاشته شده است. و برای اولین بار به کمک کلیپ‌های آموزشی کوتاه در DVD همراه کتاب خوانندگان را در عین سادگی در جریان ریزترین نکات می‌گذارد.

مولفین کتاب آقای مهندس علی فاضل فارغ‌التحصیل مهندسی آبیاری و از فعالان حوزه تاسیسات آب و بخار و مهندس پیمان ابراهیمی ناغانی فارغ‌التحصیل مقطع کارشناسی ارشد مهندس مکانیک (گرایش تبدیل انرژی) در سال ۷۸ بوده و در حال حاضر در مقطع دکتری مهندسی مکانیک در حال تحصیل می‌باشد.

به کمک تجربهٔ عملی حضور در صنایع مختلف و آشنایی با مشکلات کاربران دیگ‌خانه‌های کشور و همچنین شناخت مخاطبین دانشگاهی و طراحان این حوزه دغدغه‌های علمی و عملی همهٔ مخاطبین را به تفکیک و به‌طور کامل در بستری علمی و به صورت کاربردی ارائه کرده‌اند.

Info@noavarpub.com

مقدمه

مرجع کاربردی؟!

مهندسین مکانیک در ایران پس از فارغ‌التحصیلی از دانشگاه با مفاهیم پرکاربردی نظیر انتقال حرارت، آنتالپی، سیکل آب، بخار و کندانس و.... آشنا می‌شوند. اما سوال اینجاست که آیا این مفاهیم به صورت کاربردی در داخل یک دیگ‌خانه قابل استفاده است؟

آیا مهندسین پس از پایان دوره کارشناسی و یا کارشناسی‌ارشد می‌توانند به سوالات زیر پاسخ دهند؟

- دیگ چدنی یا فولادی، کدام یک مناسب دیگ‌خانه ماست؟
- آیا سیستم گردشی آب‌گرم بالانس است؟ نابالانسی سیستم گردشی چه معایبی دارد؟
- پمپ‌های دور متغیر سیرکولاسیون چه مزیتی دارند؟
- سیستم تصفیه آب بویلر دقیقاً چگونه کار می‌کند؟چه استانداردهایی باید در آن لحاظ شود؟
- دی‌اریتور دقیقاً چطور کار می‌کند؟کدام نوع دی‌اریتور مناسب‌تر است؟ تجهیزات مورد نیاز یک دی‌اریتور چیست؟
- چرا گوی‌های تله‌بخار و کنترل‌سطح بویلر در مدت زمان کوتاهی سوراخ می‌شوند؟
- دلیل استارت- استاپ مکرر پمپ بویلر چیست؟ چه باید کرد تا پمپ کاویتاسیون نکند؟راهکار عملی آن چیست؟
- میزان دقیق بلودان بویلر چقدر است؟مثلاً در یک بویلر ۱۰ تنی با شیر تخلیه"۲ چند ساعت یک بار و به مدت چند ثانیه تخلیه لازم است؟
- ابعاد صحیح یک تانک بلودان چقدر است؟
- هزینه تولید یک کیلوگرم بخار در دنیا چقدر است؟در دیگ‌خانه ما چقدر است؟
- آیا کیفیت بخار تولیدی مناسب است؟
- روش و زمان مناسب برای شستشوی شیمیایی بویلر و تست هیدرو استاتیک بویلر به چه ترتیب است؟ قوانین وزارت کار و بیمه در این راستا چگونه است؟

به جرات می‌توانیم بگوییم سالها قبل در پایان دوره تحصیلی دانشگاه و ورود به بازار کار یکایک این سوالات ذهن خود ما(مولفین کتاب) را نیز مشغول کرده بود.

از این رهگذر بر آن شدیم تا کتابی به رشته تحریر در آوریم که تمام مهندسان و علاقمندان و دست اندرکاران بویلرهای آب‌گرم و بخارصنعتی به کمک مطالب و جداول آن که از معتبرترین شرکت‌ها و آکادمی‌های بخار و هندبوک‌های بخار و منابع علمی معتبر در سراسر جهان و با زحمت بسیار جمع‌آوری گردیده است، بهره برده و بتوانند به صورت کاربردی از آن استفاده کنند.

علی فاضل- پیمان ابراهیمی

پیشگفتار

وقتی کتابی در ارتباط با بویلر به نگارش در می‌آید سرتاسر آن مملو از یکاهای مختلف است. بعد از پایه‌ریزی سامانه متریک (SI) در سال ۱۹۶۰ و بعد از گذشت بیش از نیم قرن از آن تقریباً اکثر کشورهای جهان و از جمله کشورمان به آن پیوسته‌اند. از اینرو یکای متریک یکای استاندارد کتب دانشگاهی ما است. اما از آنجاییکه بزرگترین تولید کنندگان بویلر در کشورمان از سیستم SI استفاده نمی‌کنند و تمامی جداول انتخابی آنها در واحد وزن پوند و در واحد انرژی بی‌تی‌یو و در واحد حجم گالن و... است در کتاب پیش‌رو سعی گردیده است به فراخور مورد از هر دو سیستم (دستگاه انگلیسی و دستگاه بین المللی) بهره گرفته شود. همچنین در فصل آخر کتاب در بخش ضمائم جداول تبدیل واحدها آورده شده است.

فصل ۱
اصول مکانیکی

آب

آب یکی از مواد مایع و فراوان‌ترین ماده مرکب بر روی سطح کره زمین و بستر اولیه حیات به شکلی که امروزه می‌شناسیم، است. بیش از ۷۵٪ وزن یک انسان از آب تشکیل شده‌است و بیش از ۷۰٪ سطح کره زمین را نیز آب پوشانده است (نزدیک به ۳۶۰ میلیون از ۵۱۰ میلیون کیلومتر مربع) با وجود این حجم عظیم آب، تنها ۲٪ از آبهای کره زمین شیرین و قابل شرب است و باقی آن به علت محلول بودن انواع نمک‌ها خصوصاً نمک طعام غیر قابل استفاده است. از همین ۲٪ آب شیرین بیش از ۹۰ درصد به صورت منجمد در دو قطب زمین و دور از دسترس بشر واقع شده‌است.

فرمول شیمیایی آب، H2O است، مولکول آب از دو اتم هیدروژن و یک اتم اکسیژن تشکیل شده است که با پیوندهای کووالانس به هم متصل شده‌اند. اتم‌های هیدروژن دارای بار مثبت هستند و با زاویه نزدیک به ۱۰۵ درجه در اطراف اتم اکسیژن قرار گرفته‌اند که این موضوع باعث قطبی شدن پیوندهای مولکول آب شده‌است. جرم مولی آب برابر ۱۸ گرم بر مول می‌باشد.

خواص فیزیکی آب

بی‌بو، بی‌رنگ و بی‌طعم. آب خواص ویژه‌ای دارد که آن را از دیگر مایعات متمایز کرده‌است. از این خواص ویژه می‌توان به ظرفیت گرمایی بالا، افزایش غیرعادی حجم به هنگام انجماد، کشش سطحی بالا، گرانروی بسیار پایین و بالا بودن گرمای‌نهان تغییر فاز اشاره نمود. دلیل بسیاری از این خاصیت‌ها وجود پیوند هیدروژنی در میان مولکولهای آب است. چگالی آب در دمای ۲۵ °C (77°F) و فشار ۱ آتمسفر (۱۴/۶۵۹ psi)برابر ۰,۹۹۸ گرم بر سانتیمتر مکعب(۶۲/۲۵LB/Ft3) است. آب در فشار یک آتمسفر در دمای۱۰۰ °C(212°F) می‌جوشد و در دمای ۰°C(۳۲ °F) منجمد می‌شود.

همچنین آب در۴°C(39/3°F) بیشترین چگالی یعنی ۱ گرم بر سانتیمتر مکعب را دارد، که این مسئله از لحاظ علمی بسیار جالب است و یک استثنا به‌شمار می‌آید.

در فیزیک براساس حالت ماده آب معمولاً به این نام‌ها خوانده می‌شود: در حالت جامد: یخ، در حالت مایع: آب، در حالت گاز: بخار آب و در حالت پلاسما: بخار آب‌گرم‌تر

میانگین جهانی مصرف آب

میانگین جهانی توزیع میزان استفاده آب در بخش‌های مختلف در سال ۲۰۱۳ به صورت زیر بود:

کشاورزی: حدود ۶۹٪

صنعت: حدود ۲۳٪

مصارف خانگی: حدود ۸٪

بخش کشاورزی به دلیل آبیاری محصولات میزان زیادی آب مورد استفاده قرار می‌دهد. از سال ۱۹۶۰ میانگین جهانی میزان برداشت آب از منابع به منظور آبیاری زمین‌ها ۶۰٪ افزایش یافته‌است و این در حالی‌است که بین ۲۰٪ تا ۳۰٪ آن تبخیر یا جاری می‌شود و به هدر می‌رود. میزان برداشت آب در کشورهای درحال توسعه به علت نداشتن ابزار مناسب دوبرابر کشورهای توسعه‌یافته برای هر هکتار است، درحالی که میزان محصولات کشاورزی آن‌ها یک‌سوم می‌باشد. به‌علاوه، در اکثر نقاط خشک و نیمه‌خشک، به علت کمبود بارش‌های جوی، ۹۰٪ آب مورد نیاز برای آبیاری زمین‌ها از آب شیرین تأمین می‌گردد، درحالی که کشورهای توسعه‌یافته این رقم را به ۴۰٪ رسانده‌اند.

نقطه جوش

نقطه جوش یک عنصر، حالتی است که در آن فشار بخار مایع با فشار بخار اطراف مایع یکسان می‌شود. با افزایش فشار، نقطه جوش مایع افزایش می‌یابد و با کاهش آن نقطهٔ جوش کاهش می‌یابد. همچنین نیروهای بین مولکولی و نوع ایزومرهای هندسی نیز در میزان نقطه جوش یک ماده نقش دارند. نقطه جوش یک مایع به صورت درجه حرارتی تعریف می شود که در آن فشار بخار مایع برابر با فشار بیرونی باشد. چنانچه فشار خارج ۷۶۰ میلی‌متر جیوه باشد. یک مایع وقتی خواهد جوشید که فشار بخار آن برابر با این مقدار باشد. برای مثال آب وقتی در دمای $100^{\circ}C$خواهد جوشید که فشار خارجی و فشار بخار آن برابر با ۷۶۰ میلی‌متر جیوه باشد. در فشار ۵۲۶ میلی‌متر جیوه آب در$^{\circ}C$ ۹۰ می‌جوشد و اگر فشار را به ۹,۲ میلی‌متر برسانیم نقطه جوش آب در$^{\circ}C$ ۱۰ خواهد بود به این علت است که نقطه جوش آب در ارتفاعات کمتر از مناطق نزدیک به سطح دریا می‌باشد.

چگونگی جوشیدن: در دمای جوش، بخار حاصل در داخل مایع سبب ایجاد حباب و غلیان خاص جوشش می‌شود. تشکیل حباب در دمای پایین‌تر از نقطه جوش غیر ممکن است، زیرا فشار جو بر سطح مایع که بیش از فشار داخل آن است، مانع از تشکیل حباب می‌شود. دمای مایع در حال جوش تا هنگامی که تمام مایع بخار نشده است، ثابت می‌ماند در یک ظرف بدون درپوش حداکثر فشار بخاری که هر مایع می‌تواند داشته باشد برابر با فشار جو می‌باشد.

فشار بخار هر مایع تنها از روی دما معین می‌شود. بنابراین اگر فشار بخار ثابت باشد دما نیز ثابت است. برای ثابت ماندن دمای یک مایع در حال جوش باید به آن گرما داده شود. زیرا در فرایند جوش مولکولهای با انرژی زیاد از مایع خارج می‌شوند. اگر سرعت افزایش گرما بیش از حداقل لازم برای ثابت نگه داشتن دمای مایع در حال جوش باشد، سرعت جوشش زیاد می‌شود ولی دمای مایع بالا نمی‌رود.

تاثیر فشار در نقطه جوش یک مایع با تغییر فشار خارجی تغییر می‌کند. نقطه جوش نرمال یک مایع ، دمایی است که در آن فشار بخار مایع برابر با یک اتمسفر باشد. نقطه جوش داده شده در کتابهای مرجع ، نقاط جوش نرمال می‌باشند. نقطه جوش یک مایع را می‌توان از منحنی فشار بخار آن به‌دست آورد و آن دمایی است که در آن فشار بخار مایع با فشار وارد بر سطح آن برابری می‌کند.

نوسانات فشار جو در یک موقعیت جغرافیایی، نقطه جوش آب را حداکثر تا ۲°C تغییر می‌دهد. ولی تغییر محل ممکن است باعث تغییرات بیشتر شود، متوسط فشاری که هواسنج در سطح دریا نشان می‌دهد یک اتمسفر، ولی در ارتفاعات بالاتر کمتر از این مقدار است. مثلاً در ارتفاع ۵۰۰۰ پایی از سطح دریا متوسط فشاری که فشارسنج نشان می‌دهد ۰/۸۳۶اتمسفر است و نقطه جوش آب در این فشار ۹۵,۱°C می‌باشد.

ظرفیت گرمایی ویژه

ظرفیت گرمایی ویژه یک ماده مقدار انرژی است که یک گرم از آن ماده دریافت می‌کند تا درجه حرارت آن ماده یک درجه سانتی‌گراد افزایش یابد. فرمول آن برابر است با :

$Q=mc\Delta T$

که در آن:

Q : انرژی مبادله شده

m : جرم

c : ظرفیت گرمایی ویژه جسم

ΔT: اختلاف دما

ظرفیت گرمایی ویژه را از مشتق‌گیری از تغییرات آنتالپی سیستم می‌توان نتیجه گرفت. به عبارت دیگر تغییرات آنتالپی سیستم همان انتگرال از ظرفیت حرارتی ویژه در محدوده دمایی مورد نظر است. ظرفیت گرمایی ویژه را در فشار ثابت از طریق کالری متری سنجشی مقیاسی تعیین می‌کنند.

ظرفیت گرمایی ویژه در جامدات بیشتر از مایعات و در مایعات بیشتر از گازها است. این مورد با استفاده از تئوری سینتیک مولکولی قابل توجیه است. مولکول‌ها در گازها از سرعت حرکت بالایی برخوردارند و تغییر کمی در دمای یک گاز منجر به افزایش حجم آن می‌شود. به این دلیل ظرفیت گرمایی ویژه در گازها پایین است در حالی که افزایش حرکت مولکول‌ها و حجم مایعات در اثر افزایش دما کمتر از گازهاست و بنابراین مایعات ظرفیت گرمایی ویژه بیشتری نسبت به گازها دارند. در مورد جامدات به دلیل آن که انرژی گرمایی بالایی باید به آنها داد تا حجمشان افزایش یابد ظرفیت گرمایی ویژه جامدات بیشتر از مایعات است.

گرمای‌نهان(Latent heat)

گرمای‌نهان گرمایی است که ماده در هنگام تبدیل از حالتی به حالت دیگر از دست داده و یا جذب می‌کند. نام دیگر گرمای‌نهان «گذار فازی» است. این لفظ در سال ۱۷۵۰ میلادی توسط جوزف بلک برگزیده شد. این کلمه از لفظ لاتین Latere به معنای پنهان کردن گرفته شده است. اکنون این لغت به آنتالپی تبدیل نیز تعبیر شده است.

اثر گرما در چنین دگرگونی‌هایی برگشت‌پذیر است. گرمای جذب شده توسط یک جامد در هنگام مایع شدن در نقطه ذوب را گرمای‌نهان ذوب و گرمای جذب شده توسط یک مایع برای تبدیل شدن به بخار در فشار یک اتمسفر و در نقطه جوش را گرمای‌نهان تبخیر می‌گویند. این تغییر زمانی که تغییر فاز جامد به مایع داریم گرماگیر و در جهت عکس گرماده است. برای مثال در اتمسفر زمانی که یک مولکول آب از سطح آب بخار می‌شود، انرژی توسط مولکول‌های آب به بسته هوایی با دمای کمتر منتقل می‌گردد. این بسته هوایی آب بخار شده بیشتری نسبت به اطراف خود دارد. از آنجاییکه باید بر نیروهای

جاذب بین ذرات آب غلبه کنیم، مرحله تبدیل یک بسته آبی به یک بسته بخاری نیازمند گرفتن انرژی است. اگر آب بخاری فشرده شده و به شکل مایع یا جامد تبدیل گردد، انرژی‌ای که قبلاً برای تبخیر شدن گرفته شده بود به‌صورت گرمایی محسوس آزاد می‌شود. انرژی زیاد آنتالپی انقباض بخار آب موجب می‌گردد که بخار آب از آب جوش در گرمادهی بهتر باشد. معادله گرمای‌نهان ذوب به این صورت است:

$Q=mL$

Q : مقدار انرژی دریافتی یا آزاد شده هنگام تغییر فاز (ژول)

m : جرم ماده مورد نظر

L : گرمای‌نهان ویژه یک ماده مشخص (J/kg)

گرماهای نهان را معمولاً بر حسب واحد ژول‌برمول می‌سنجند. گرماهای نهان انتروپی‌های تغییر فاز هستند. آنتالپی یک ماده شیمیایی فقط به دما، فشار و حالت فیزیکی آن بستگی دارد. میزان آنتالپی یا محتوای گرمایی یک ماده را نمی‌توان از طریق آزمایش به‌دست آورد. پس در واکنش‌های شیمیایی تنها می‌توان تفاوت آنتالپی‌ها را محاسبه کرد.

آنتالپی مواد با دما تغییر می‌کند. برای مثال:

- برای تغییر دمای یک گرم آب(مایع) از°C ۰به°C ۱۰۰ به ۱۰۰ کالری انرژی نیاز است.

با تغییر فاز نیز آنتالپی ماده تغییر می‌کند. برای مثال:

- برای تبدیل یک گرم یخ °C ۰به یک گرم آب °C ۰ به۸۰ کالری گرما نیاز است.
- برای تبدیل یک گرم آب°C ۱۰۰ به یک گرم بخار°C ۱۰۰به۵۴۰ کالری گرما نیاز است.

آنتالپی

آنتالپی مقدار گرمای سیستم در فشار ثابت است. واحد اندازه‌گیری آنتالپی در سامانه استاندارد بین‌المللی یکاها ژول (J) نام دارد. آنتالپی به‌وسیله فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$H = U + pV$$

که H نمایانگر آنتالپی سیستم (در واحد ژول)، U نمایانگر انرژی درونی سامانه (در واحد ژول)، p نمایانگر میزان فشار در مرز سامانه (در واحد پاسکال) و V نمایانگر حجم سامانه (در واحد مترمکعب) می‌باشد. آنتالپی یک تابع حالت است به این معنی که مقدار آن تنها به حالت‌های آغازی و پایانی فرایند بستگی دارد و مسیر انجام واکنش در مقدار آن تغییری ایجاد نمی‌کند.

واحدهای انرژی

ژول و کالری و بی‌تی‌یو برای اندازه‌گیری مقادیر ترمودینامیکی واحدهای نسبتًا کوچکی هستند. از اینرو این مقادیر بیشتر برحسب کیلوکالری و کیلوژول بیان می‌شوند و برای بی‌تی‌یو از میلیون بی‌تی‌یو استفاده می‌شود اما از آنجاکه در سیستم Roman Numerals حرفm یاM به معنی هزار است و در سیستم بین المللی به معنی ۱,۰۰۰,۰۰۰برای جلوگیری از بروز اشتباه میلیون بی‌تی‌یو را به شکل MMBTU نمایش می‌دهند.

کمیته بین‌المللی اوزان و مقادیر توصیه می‌کند که همه اندازه‌گیریهای انرژی بر مبنای ژول باشد و از کالری استفاده نشود.اما درگذشته ، مقادیر ترمودینامیکی معمولاً برحسب کالری وکیلوکالری گزارش می‌شد.

انتخاب نقاط مرجع برای دماسنج

برای تعریف مقیاس دمایی، بیایید یک جسم دماسنجی و یک کمیت دماسنجی را در نظر بگیریم. برای مثال ما می‌توانیم جسم دماسنجی را به فرم یک میله آهنی با طول مشخص در نظر بگیریم که طول، ویژگی دماسنجی است. برای شروع، حداقل دو نمونه درجه حرارت یا نقاط مرجع که به آسانی قابل حصول باشند، در نظر می‌گیریم. مهمترین درجه حرارتهایی که به آسانی تعیین می‌شوند، عبارتند از: درجه حرارتی که در فشار اتمسفر آب در آن می‌جوشد و همچنین درجه حرارتی که آب در آن یخ می‌بندد. این نقاط مرجع، نقطه جوش و نقطه انجماد آب نامیده می‌شود.

مقیاسهای دمایی متداول

مقیاسهای سلسیوس، ریومر، فارنهایت که نسبت به نقاط مرجع از لحاظ مقدار دما با هم فرق می‌کنند.

در مقیاس سلسیوس $t_1 = ۰$ و $t_2 = ۱۰۰$

در مقیاس ریومر $t_1 = ۰$ و $t_2 = ۸۰$

در مقیاس فارنهایت $t_1 = ۳۲$ و $t_2 = ۲۱۲$ است.

در نتیجه درجه حرارتهای یکسان با مقیاسهای دمایی متفاوت به صورت زیر مشخص می‌شوند:

$t_R = ۰/۸t_c$

$t_F = ۳۲ + ۱/۸t_c$

واحدهای فشار

فشار مقدار نیرویی است که بر واحد سطح وارد می‌شود. در سیستم‌های مختلف آحاد و ابعاد بسته به نوع تعریف، واحدهای فشار را نام‌گذاری کرده‌اند و مورد استفاده قرار می‌دهند. در زیر به طور خلاصه به شرح تعدادی از واحدهای فشار می‌پردازیم:

بار (bar):

هر بار (bar) برابر نیروی ۱۰۰۰، ۰۰۰، ۱دین (dyne) است که بر یک سانتی‌متر مربع وارد می‌شود. این واحد در سیستم SI (International System of Units) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

پوند بر اینچ‌مربع Psi (Pounds per Square Inch):

همان طور که از نام این واحد مشخص است، هر psi برابر نیروی یک پوندی (pound-force) است که بر یک اینچ‌مربع وارد می‌شود. این واحد بیشتر در سیستم انگلیسی (British) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

پاسکال (Pascal):

واحد اصلی فشار که در سیستم SI مورد استفاده قرار می‌گیرد پاسکال است. پاسکال برابر نیروی یک نیوتونی است که بر یک متر مربع وارد می‌شود.

اتمسفر (atm):

هر اتمسفر برابر نیروی ۱۰۱۳۲۵۰ دین (dyne) است که بر یک سانتی‌متر مربع وارد می‌شود. اتمسفر را با خطای ۱٪ می‌توان برابر بار(bar) در نظر گرفت.

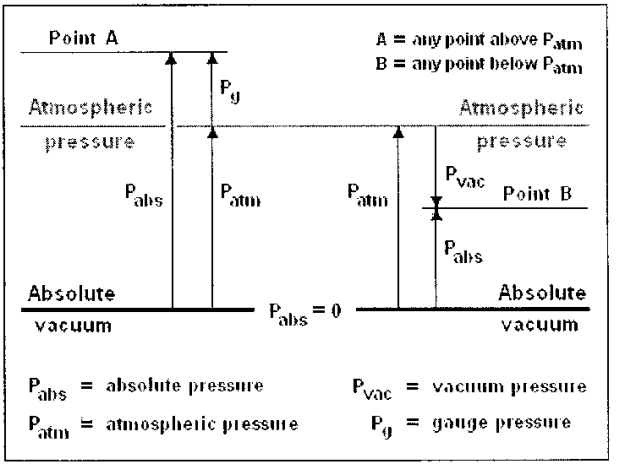
میلی‌متر جیوه (mm Hg):

میلی‌متر جیوه مانند سانتی‌متر آب جزو واحدهای فشار مانومتریک به‌شمار می‌آید. اندازه‌گیری این

نوع واحدهای فشار براساس دانسیته سیال و شتاب گرانش زمین می‌باشد. زمانی که دانسیته جیوه دقیقاً برابر ۱۳,۵۹۵۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب باشد و شتاب گرانش زمین دقیقا برابر ۹,۸۰۶۶۵ متر بر مجذور ثانیه باشد، یک میلی‌متر جیوه تقریبا برابر یک تور (Torr) می‌باشد. این بدان معناست که ۷۶۰ میلی‌متر جیوه برابر یک اتمسفر می‌باشد.

انواع فشار

فشار بر دو گونه نسبی و مطلق می‌باشد: در اندازه‌گیری فشار هرگاه مبداء اندازه‌گیری صفر باشد، این فشار را فشارمطلق گویند (baraلpsia) که درآن a معرف Absolute می‌باشد واگر مبداء اندازه‌گیری، فشارهوای محلی باشد این فشار رافشار نسبی (psig یاbarg)گویند که درآن g معرف Gauge (پیمانه) می‌باشد. بدیهی است که پیمانه‌های اندازه‌گیری مرسوم باید فشارنسبی را اندازه‌گیری کنند.



شکل ۱-۱: رابطه بین فشار نسبی و مطلق

چگالی و جرم مخصوص

در علوم پایه چگالی را مقدار جرم موجود در واحد حجم ماده می‌دانند. و آن را با علامت اختصاری ρ نشان می‌دهند که از رابطه ρ=m/V به دست می‌آید. در صورتی که در علوم پیشرفته، این تعریف از چگالی صحیح نیست و دقیقاً تعریف جرم واحد حجم یا جرم مخصوص یا همان دانسیته می‌باشد. در علم کل، وزن مخصوص یک ماده به وزن آب هم حجم آن را در شرایط استاندارد، چگالی می‌گویند و آن را با S نشان می‌دهند. در رابطه ذکر شده، ρ چگالی ماده، m جرم جسم و V حجم اشغال شده توسط آن ماده‌است. همچنین، بین چگالی و وزن مخصوص باید تفاوت قائل شد. چگالی مقدار جرم موجود در واحد حجم است، ولی وزن مخصوص به معنی وزن واحد حجم ماده است.

حرارت-گرما

در فیزیک و ترمودینامیک، گرما انرژی جابجا شده از یک جسم به جسم دیگر یا از ناحیه‌ای به

ناحیه‌ای دیگر، طی برهم‌کنش‌های گرمایی است. انتقال انرژی از راه‌های گوناگون مانند رسانش گرمایی، تابش، و همرفت انجام می‌شود. گرما یکی از ویژگی‌های سیستم یا جسم نیست بلکه معمولاً به یک نوع فرایند مربوط است، و با جریان گرما و انتقال گرما هم‌معنا است.

در کل، گرما انتقال انرژی از یک جسم یا از یک سامانه ترمودینامیکی به دیگری است در هنگامی که دو سامانه در دو دمای متفاوت باشند. این انرژی در اثر تماس حرارتی منتقل می‌شود. همچنین از انتقال گرما به عنوان یکی از فرایندهای بنیادی انتقال انرژی بین اجسام فیزیکی یاد می‌شود. انتقال گرما یکی از راه‌های جابجایی انرژی است که در آن کاری صورت نمی‌گیرد.

ظرفیت گرمایی

ظرفیت گرمایی یا ظرفیت حرارتی یک سامانه با C نشان داده می‌شود که عبارت است از نسبت گرمای مبادله شده با سیستم به تغییر دمای ناشی از مبادله گرما. مفهوم ظرفیت گرمایی فقط درمواردی به کارمی‌رود که مبادله گرما با سیستم تنها باعث تغییر دمای سیستم شود و در مواردی که تغییرفاز ایجادمی‌شود، به کارنمی‌رود.

بخش اول
آب گرم

فصل ۲
بویلرهای آب‌گرم و آب‌داغ

مقدمه

یکی از قسمت‌های مهم سیستم‌های حرارت مرکزی موتورخانه می‌باشد که در آنجا آب‌گرم تولید شده و سپس توسط لوله‌کشی به فضاهای مختلف ساختمان جهت استفاده ارسال می‌گردد. در اصل این قسمت از سیستم حرارت مرکزی به عنوان قلب سیستم عمل می‌کند. موتورخانه در حالت کلی شامل اجزای مختلفی از جمله دیگ، مشعل، پمپ، مخزن آب‌گرم مصرفی، در صورت لزوم سختی‌گیر، منبع انبساط، منبع سوخت و دودکش می‌باشد که در این فصل به بررسی انواع دیگ و طریقه انتخاب آنها پرداخته می‌شود.

دیگ‌های آب‌گرم

دیگ‌های آب‌گرم وسایلی هستند که انرژی حرارتی آزاد شده حاصل از احتراق سوخت را به آب داخل خود منتقل می‌کنند. این آب‌گرم شده، توسط پمپ به‌گردش در آمده و بخشی از انرژی خود را از دست می‌دهد. آب با دمای پایین به داخل دیگ باز می‌گردد و مجدداً گرم می‌شود. دیگ‌ها را می‌توان به روش‌های مختلفی تقسیم‌بندی نمود:

۱. **از نظر سیال داخل آنها**: در این روش دیگ‌ها به انواع روغنی (مانند دیگ‌های صنعت سیمان و صنایع غذایی)، آب‌گرم، آب‌داغ، بخار و ... تقسیم‌بندی می‌شوند.

۲. **از نظر جنس**:دیگ‌ها براساس جنس ساخته شده به دو دسته چدنی و فولادی تقسیم‌بندی می‌شوند.

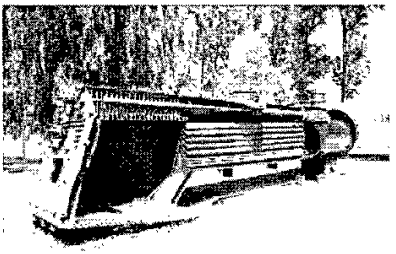
۳. **از نظر تعداد مسیر عبور دود**: بویلرها بر حسب تعداد مسیری که گازهای ناشی از احتراق طی می‌کند تا وارد دودکش شوند به چند دسته تقسیم می‌شود.

الف- تک پاس: نسل اول بویلرهای ذغال سنگ سوز لوکوموتیوهای بخار[۱] از این نوع بوده‌اند که در آنها گازهای ناشی از احتراق مسیر دیگ را یک بار طی می‌کند و بعد وارد دودکش می‌شود. این نوع از

---

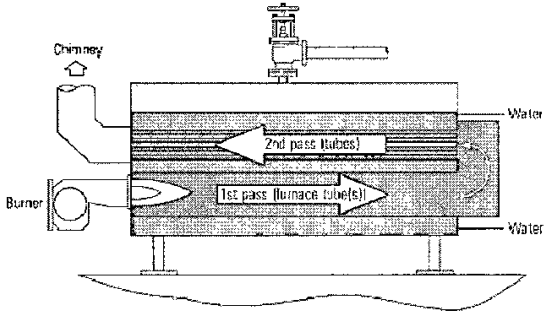
[۱] فیلم آموزشی شماره۲-۱ را ببینید

بویلرها دیگر ساخته نمی‌شوند.



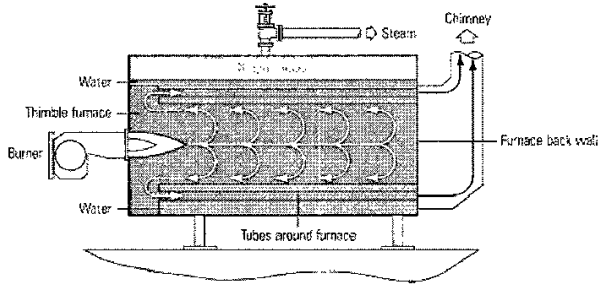
شکل ۲-۱ :نمونه یک دیگ تک پاس لوکوموتیو بخار

ب- دو پاس: (برای تولید آب‌گرم) گازهای ناشی از احتراق مسیر دیگ را دو بار طی می‌کند و بعد وارد دودکش می‌شود.



شکل ۲-۲: شماتیک دیگ دو پاس

ج- کوره برگشتی[۱]: گازهای ناشی از احتراق مسیر کوره را دوبار طی می‌کند و سپس به پاس لوله‌ها منتقل شده و به سمت دودکش حرکت می‌کند. راندمان بویلرهای کوره برگشتی از بویلرهای دو پاس بیشتر است.

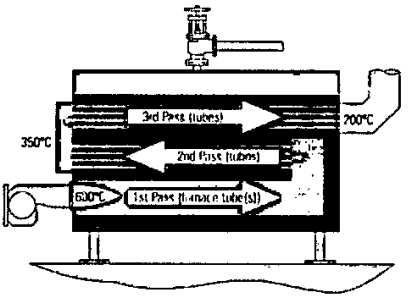


شکل ۲-۳: شماتیک دیگ کوره برگشتی

---

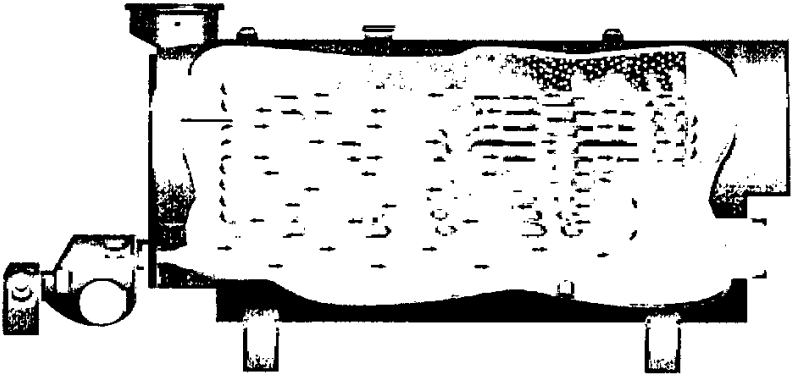
[۱] فیلم آموزشی شماره۲-۲ را ببینید

د- سه پاس: (هم برای تولید آب‌گرم و هم بخار) گازهای ناشی از احتراق مسیر دیگ را سه بار طی می‌کند و بعد وارد دودکش می‌شود.



شکل ۲-۴: شماتیک دیگ سه پاس

هـ- چهار پاس: دیگ‌های ۴ پاس صرفاً برای تولید بخار در تناژ بالا تولید می‌شود.گازهای ناشی از احتراق مسیر دیگ را چهار بار طی می‌کند و بعد وارد دودکش می‌شود.

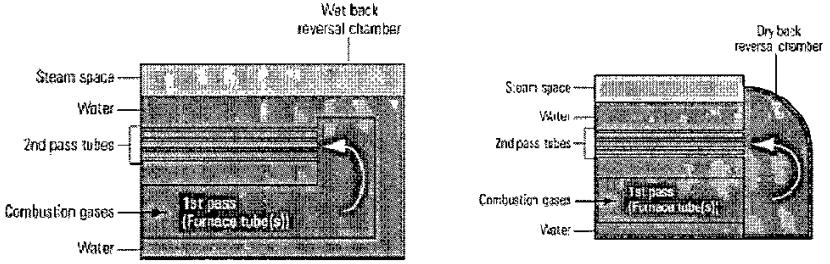


شکل ۲-۵: شماتیک دیگ چهار پاس

در ظرفیت‌های مشابه سطح تبادل حرارت و در نتیجه راندمان دیگ‌های چهارپاسه بیشتر از سه‌پاسه و سه‌پاسه نیز بیشتر از دیگ‌های دوپاسه است و همچنین دمای دودکش دیگ‌های چهارپاسه کمتر از سه پاسه وسه‌پاسه نیز کمتر از دیگ‌های دو پاسه است. اگر چه راندمان حرارتی دیگ‌های چهار پاسه از بقیه بیشتر است ولی نوع سوخت و شرایط عملکردی دو محدودیت مهم بر سر راه استفاده از این دیگ‌ها است برای مثال اگر از سوخت‌های سنگین در این دیگ‌ها استفاده شود انتقال حرارت از محصولات احتراق زیاد خواهد شد و ممکن است دمای دود خروجی از دیگ به زیر دمای شبنم اسید برسد و این باعث خوردگی دودکش و حتی دیگ می‌شود. همچنین این دیگ‌ها بیشتر تحت تاثیر تنش‌های حرارتی می‌باشند.

۴. **از لحاظ تماس انتهای محفظه احتراق:** اگر بین انتهای محفظه احتراق و انتهای دیگ، آب قرار گرفته‌باشد (آب واسطه بین محفظه احتراق و انتهای دیگ باشد) دیگ عقب

تر[1](وت بک) نامیده می‌شود.



شکل ۲-۶: شماتیک دیگ عقب‌تر و عقب‌خشک

ولی اگر به جای آب دیوار نسوز[2] قرار گرفته باشد دیگ عقب خشک[3](درای بک)نامیده می‌شود. امروزه برتری دیگ‌های عقب‌تر نسبت به عقب خشک از جمله راندمان حرارتی بالاتر، تنش‌های حرارتی کمتر و نیاز به نگهداری کمتر باعث شده که ساخت دیگ‌های عقب خشک مگر در سایزهای کوچک تقریباً منسوخ شود. در شکل (۲-۶) شماتیک دیگ عقب‌تر و عقب خشک نشان داده شده‌است.

۵. **بر اساس سوخت مصرفی**: دیگ‌ها می‌توانند با سوخت‌های مختلف کار نمایند. مهم‌ترین سوخت‌های مصرفی در دیگ‌ها گاز و گازوئیل و مازوت هستند. که البته در دیگ‌های آب‌گرم از سوخت مازوت به ندرت استفاده می‌شود.

۶. **بر اساس جریان آب** : جریان آب و گازهای احتراق در دیگ‌ها می‌تواند به اشکال مختلفی انجام گیرد.

الف) لوله دودی FIRE TUBE: در این نوع از دیگ‌ها گازهای احتراق درون لوله و آب گرداگرد محیط حرارتی قرار دارد. دیگ‌های فولادی آب‌گرم و دیگ‌های بخار تا فشار ۳۷۵psi از این نوع‌اند.

ب) لوله آبیWATER TUBE: بر عکس حالت قبلی آب در داخل لوله بوده و گازهای احتراق گرداگرد آن قرار دارند. مهمترین کاربرد این نوع دیگ‌ها تولید بخار فشار قوی است. زیرا چنانچه بخواهیم بخار فشار قوی را از طریق دیگ‌ها لوله دودی تولید کنیم تنش بسیار زیادی به بدنه دیگ وارد می‌شود و در نتیجه به ضخامت بسیار زیادی احتاج است.(توضیح کامل در فصل دیگ‌های بخار)

دیگ‌های چدنی

همانطور که از نام آنها پیداست از چدن خاکستری برای تولید آنها استفاده می‌شود. دیگ‌های چدنی در ظرفیت‌های مختلف تولید شده و می‌تواند به صورت یک تکه و یا پره‌ای ساخته شود.

یک تکه: دیگ‌های چدنی یک تکه برای تولید آب‌گرم و بخار فشار ضعیف کاربرد دارند و تولید آنها در کشورمان بسیار محدود است.

پره‌ای: این دیگ‌ها براساس ظرفیت حرارتی آنها از تعدادی پره چدنی (ساخته شده به روش ریخته‌گری) تشکیل شده‌اند. این پره‌ها می‌تواند به صورت افقی و یا عمودی ساخته شود که در فضای وسط پره‌ها شعله مشعل قرار می‌گیرد و جهت افزایش بازده دیگ و حداکثر استفاده از انرژی حرارتی سوخت، در محیط پره‌ها مجراهای خاصی در نظر گرفته شده‌اند که گازهای داغ حاصل از احتراق از آنها

1- Wet Back
2- Refractory Wall
3- Dry Back

عبور می‌کنند و انرژی خود را به آب داخل دیگ منتقل می‌کنند. (دیگ‌های پره‌ای چدنی عملکردی شبیه نوع لوله آبی دارند) در داخل دیگ چدنی انتقال حرارت از شعله به دیواره دیگ باید از طریق تشعشع صورت گیرد و نباید شعله به طور مستقیم به دیواره دیگ برخورد کند چون فراهم کردن چنین شرایطی مستلزم فضای زیادی است لذا در دیگ‌های خانگی این اصل رعایت نمی‌شود و برای جلوگیری از برخورد مستقیم شعله با بدنه پره‌های دیگ در داخل آن آجر چینی می‌کنند. هر دیگ برحسب ظرفیت آن شامل یک پره جلو، یک پره عقب و تعدادی پره وسط است که پره جلو و عقب با یکدیگر و با پره‌های وسط تفاوت دارند ولی تمام پره‌های وسط یکسان هستند.

مونتاژ(جمع کردن) دیگ چدنی

اتصال پره‌ها به یکدیگر از بالا و پایین به‌وسیله قطعه‌ای به نام بوش صورت می‌گیرد که دو طرف سطح خارجی آن به صورت مخروط ناقص (کونیک) تراشیده شده است و برای آنکه عمل آب‌بندی به خوبی انجام شود به هنگام استفاده از بوش، آن را به ضد زنگ آغشته می‌کنند. عمل اتصال پره‌های جلو، وسط و عقب دیگ به یکدیگر و بستن بقیه قطعات آن را جمع کردن دیگ می‌گویند. کارخانه یا نمایندگی‌های فروش، قطعات دیگ‌های چدنی را به صورت مجزا به خریدار تحویل می‌دهند و سپس توسط افراد متخصص در محل موتورخانه بر روی فونداسیون جمع می‌شوند.

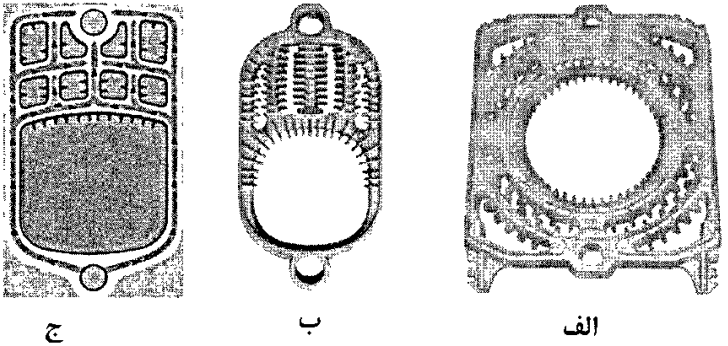
دیگ چدنی باید طوری جمع شود که بین پره‌های آن هیچ درزی وجود نداشته باشد در غیر اینصورت مشکلات متعددی را به‌همراه خواهد داشت.

۱. در هنگام روشن بودن مشعل سر و صدای مشعل تشدید می‌شود.

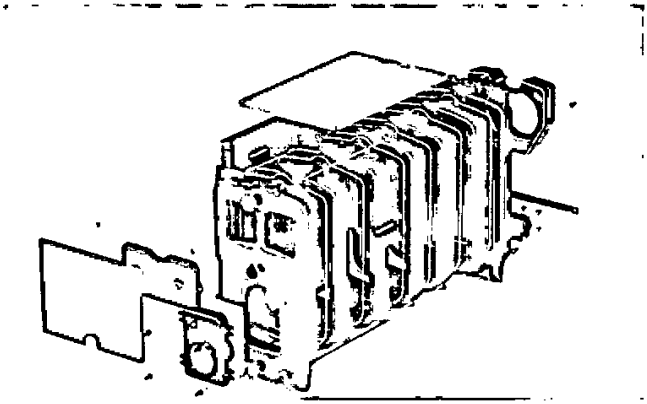
هنگامی که مشعل خاموش می‌شود به دلیل منفی بودن فشار داخل محفظه احتراق دیگ نسبت به محیط، هوای سرد محیط سریع به داخل محفظه احتراق نفوذ کرده و جایگزین گازهای داغ حاصل از احتراق می‌شود لذا دیگ سریع سرد می‌شود که این امر از یک طرف باعث افزایش مصرف سوخت شده و از طرف دیگر تنش حرارتی به دیگ وارد می‌کند.

در هنگام روشن بودن مشعل، وجود درز بین پره‌ها سبب به هم خوردن فشار داخل محفظه احتراق و به تبع آن اختلال درپارامترهای احتراق مانند دمای شعله، شکل شعله، نسبت هوا به سوخت، ترکیب محصولات احتراق، بازدهی مشعل و ... می‌شود.

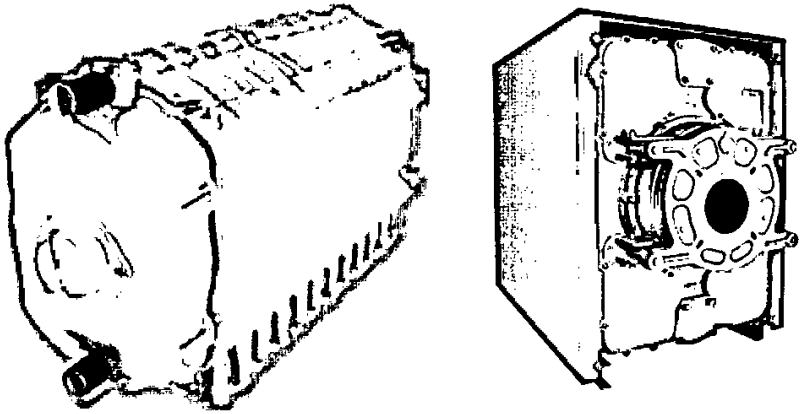
در شکل (۲-۷) دو نمونه پره دیگ چدنی و مسیر جریان آب در داخل پره نشان داده شده است.



شکل ۲-۷: الف و ب) دو نمونه پره دیگ چدنی ج) مسیر جریان آب در داخل پره

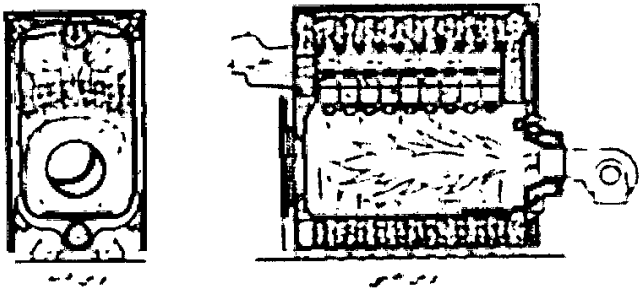


شکل ۲-۸: ترتیب قرارگیری اجزای مختلف یک دیگ چدنی(ساخت شوفاژکار)



شکل ۲-۹: دو نمونه دیگ چدنی جمع شده با کاور و بدون کاور

در شکل (۲-۱۰)شعله و مسیر عبور گازهای حاصل از عمل احتراق در داخل دیگ چدنی در دو نمای جانبی و قائم آمده‌اند.



شکل ۲-۱۰: شعله و مسیر گازهای احتراق در دیگ چدنی

مزایای دیگ‌های چدنی

از مزایای دیگ‌های چدنی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. در برابر خوردگی و زنگ‌زدگی بسیار مقاوم هستند.

به دلیل قابلیت جدا شدن پره‌های دیگ حمل و نقل آنها آسان است و ظرفیت حرارتی آنها با افزایش یا کاهش تعداد پره‌ها قابل تغییر است.

۲. در صورت شکستن پره‌ها، می‌توان آنها را با پره نو تعویض کرد و احتیاجی به تعویض تمامی دیگ نیست.

۳. قیمت آنها ارزان است.

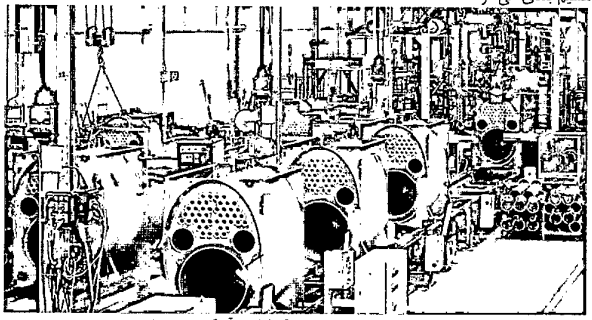
معایب دیگ‌های چدنی

از معایب دیگ‌های چدنی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- از مشکلات اصلی این دیگ‌ها ترک برداشتن جدار پره‌ها در اثر تنش‌های حرارتی، فشار زیاد سیستم، ایجاد رسوب روی سطح داخلی پره و ... است که در اینصورت پره باید توسط فرد متخصص تعویض شود و در صورتی که هنگام تعویض پره دقت کافی به عمل نیاید دیگ مشکل آب‌بندی و دودبندی پیدا می‌کند.
- نسبت به کندانس دود بسیار ضعیف هستند.
- مقاومت آنها در برابر برخورد مستقیم شعله پایین است و در صورتیکه در داخل دیگ آب نباشد و مشعل بیشتر از ۵ دقیقه روشن بماند کل پره را باید تعویض کرد.
- در ظرفیت برابر طول این دیگ‌ها به نسبت به دیگ‌های فولادی بیشتر است.
- برای مناطق خیلی سرد که امکان شوک حرارتی وجود دارد مناسب نمی‌باشند.

دیگ‌های فولادی

این دیگ‌ها به‌صورت یکپارچه در کارخانه ساخته می‌شوند و براساس مکان قرارگیری آب، به دو نوع زیر تقسیم بندی می‌شوند:

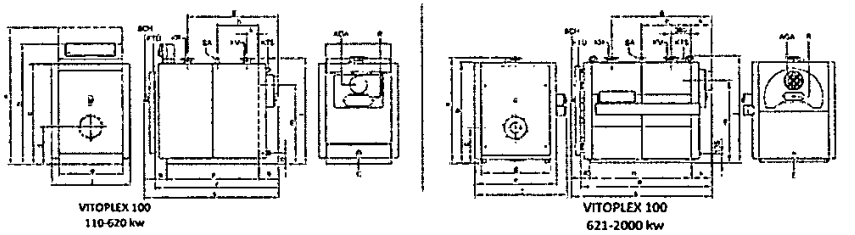


شکل۲-۱۱ : کارخانه ساخت دیگ فولادی آب‌گرم (ویزمن)

۱- **لوله‌آب**[1]: در این نوع دیگ‌ها آب درون لوله‌ها جریان دارد و با آتش مشعل که از بیرون به لوله‌ها برخورد می‌کند گرم می‌شود. این نوع دیگ‌ها برای فشار کاری بسیار بالا (۶۰bar) و تولید بخار ساخته می‌شوند به همین خاطر از این دیگ‌ها بیشتر در نیروگاه‌ها استفاده می‌شود.

۲- **لوله‌آتش**[2]: در این دیگ‌ها دود حاصل از احتراق مشعل در پاس‌های مختلفی از داخل لوله‌های آتش‌خوار درون دیگ عبور می‌کند و در اطراف این لوله‌ها مخزن آب قرار گرفته است با عبور این گازهای داغ حاصل از احتراق، آب داخل مخزن گرم می‌شود. این دیگ‌ها براساس تعداد مسیرهای رفت یا برگشتی که دود طی می‌کند تا وارد دودکش شود به سه نوع دو، سه و چهار پاسه دسته‌بندی می‌شود. این دیگ‌ها برای فشار کم و متوسط(۴ تا ۲۵ اتمسفر) و دبی‌های زیاد (۳۰ تن در ساعت) کاربرد دارند. دیگ‌های فولادی به‌کار رفته در صنعت تاسیسات بیشتر از این نوع هستند.

محدوده ظرفیت / ابعاد	از KW	110	151	201	251	311	401	501
	تا KW	150	200	250	310	400	500	620
a	mm	1460	1460	1530	1530	1700	1700	1760
b	mm	1290	1290	1360	1360	1530	1530	1585
c	mm	1058	1058	1130	1130	1300	1300	1356
d	mm	400	400	420	420	465	465	495
e	mm	650	650	730	730	800	800	865
f	mm	800	800	880	880	950	950	1015
g	mm	670	810	810	976	1051	1051	1152
h	mm	410	480	480	563	611	611	662
k	mm	150	150	150	150	171	171	172
l	mm	1120	1120	1195	1195	1365	1365	1420
m	mm	833	833	886	886	1017	1017	1058
n	mm	123	123	122	122	124	124	125
o	mm	110	110	110	110	130	130	130
p (طول ریل های پایه)	mm	931	1071	1071	1251	1375	1375	1476
q	mm	203	203	203	203	224	224	224
r (بُعد مربوط به حمل و نقل دستگاه)	mm	1245	1358	1385	1565	1730	1730	1830
s	mm	1350	1490	1490	1670	1840	1840	1940



شکل۲-۱۲ : محدوده ظرفیت و ابعاد دیگ فولادی آب‌گرم ساخت ویزمن

1- Water tube
2 - Fire tube

دیگ‌های فولادی لوله‌آتش که در صنعت تاسیسات متداول‌تر هستند، از قسمت‌های زیر تشکیل شده‌اند:

۱- **بدنه:** بدنه دیگ به ابعاد مورد نیاز از ورق‌های فولادی بریده و پس از نورد کاری جوش‌کاری می‌شود.

۲- **لوله‌ها:** لوله‌های دیگ‌های فولادی از نوع بدون درز آتش‌خوار است که بر حسب نیاز از لوله‌های ۶ متری بریده می‌شوند.

۳- **صفحات نگه‌دارنده لوله‌ها**[1]**:** این صفحات هم وظیفه نگه‌داشتن لوله‌ها را دارند و هم محفظه داخلی دیگ را از محیط خارج جدا می‌سازند. در دیگ‌های با طول کم، یک صفحه نگهدارنده در جلو و یکی دیگر در عقب نصب می‌شود ولی در دیگ‌های با طول زیاد مابین صفحه نگهدارنده جلو و عقب صفحات نگهدارنده دیگری برای نگه‌داشتن لوله‌ها قرار داده می‌شود. صفحه نگهدارنده جلو و عقب به بدنه دیگ جوش داده می‌شوند. لوله‌ها به صفحه نگهدارنده به روش گشاد کردن لوله (با ابزاری به نام والس) آب‌بندی می‌شوند، این عمل را اکسپند[2] می‌نامند. بعضی از کارخانه‌ها لوله‌های پاس دوم را به صفحه نگهدارنده جلو و عقب دیگ جوش می‌دهند.

۴- **کوره:** کوره دیگ که در آن مواد سوختنی (مازوت، گازوئیل و یا گاز) به وسیله مشعل سوزانده می‌شود(پاس اول)، از ورق فولاد آتش‌خوار به ابعاد مورد نیاز بریده و پس از نورد و جوش‌کاری، داخل دیگ نصب می‌شود و سپس به صفحه نگهدارنده جلو و عقب دیگ جوش داده می‌شود.

۵- **اتصالات لوله رفت و برگشت:** برروی هر دیگ آب‌گرم فولادی یک جا برای اتصال لوله رفت و جای دیگر برای اتصال لوله برگشت به دیگ پیش‌بینی می‌شود.

۶- **اتصال لوله انبساط:** بر روی دیگ‌های فولادی آب‌گرم، محلی برای اتصال لوله انبساط به دیگ پیش‌بینی می‌شود.

۷- **شیر اطمینان:** با توجه به ظرفیت فشار کار دیگ، علاوه بر اتصال لوله انبساط (توسط کارخانه)، یک و یا دو عدد شیر اطمینان حساس (در مقابل فشار)، بر روی آن نصب می‌گردد.

۸- **شیر تخلیه:** در پایین‌ترین قسمت بدنه دیگ، یک عدد شیر برای تخلیه آب داخل آن، نصب می‌گردد.

۹- **دریچه‌های بازرسی:** به منظور سهولت بازدید و رسوب‌زدایی در بدنه دیگ‌های فولادی به تناسب ظرفیت آنها معمولاً سه نوع دریچه قرار داده می‌شود که بزرگترین آنها دریچه آدم رو[3] است که در بالا و مرکز بدنه دیگ قرار دارد. بسته به نظر طراح دو دریچه دیگر در بدنه کناری دیگ‌های بخار به نام دریچه‌های سررو[4] و دست‌رو[5] قرار داده می‌شوند که این دریچه‌ها هر کدام دارای یک درب متحرک بوده که توسط واشر نسوز گرافیتی آب‌بندی می‌شوند.

۱۰- **محفظه‌های دود:** در جلو و عقب دیگ‌های فولادی محفظه‌هایی وجود دارند که گازهای خروجی از یک پاس را دریافت کرده و به داخل لوله‌های پاس بعدی هدایت می‌کنند و همچنین برای دسترسی سرویس کاران دیگ بخار برای تعمیر، تعویض یا تمیز کاری لوله‌ها

1- Tube sheet
2 - Expand
3 - Man hole
4 - Head hole
5 - Hand hole

پیش بینی شده‌اند.

۱۱- **درب‌های جلو و عقب:** بر روی محفظه‌های دود جلو و عقب، درب‌هایی لولایی تعبیه شده‌اند که به وسیله پیچ و مهره و قرار دادن نخ نسوز در زیر آن‌ها بسته می‌شوند و به هنگام تمیز کردن داخل لوله‌ها و محفظه دود از آن‌ها استفاده می‌شود.

۱۲- **اتصال دودکش:** مانند سایر دیگ‌ها بر روی دیگ‌های فولادی نیز جهت هدایت محصولات احتراق به خارج از ساختمان محلی برای اتصال دودکش به آن پیش‌بینی می‌گردد.

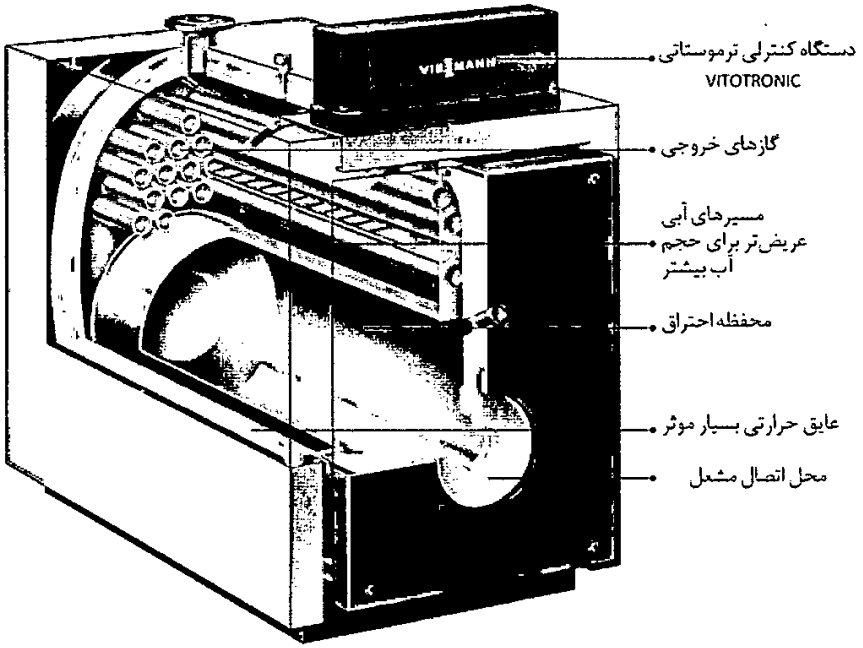
۱۳- **اتصالات مربوط به نشان‌دهنده‌ها:** بر روی دیگ‌های فولادی جاهایی برای نصب ترمومتر، ترموستات و فشارسنج پیش‌بینی می‌گردد.

۱۴- **عایق:** بدنه دیگ‌های فولادی به‌وسیله یک لایه عایق حرارتی ضخیم، پوشیده می‌شود(معمولا پشم سنگ بین جداره بیرون دیگ و پوشش اصلی قرار می‌دهند).

۱۵- **پوشش (کاور):** بر روی عایق بدنه، پوششی از ورق آلومینیوم و یا ورق فولادی رنگ شده، کشیده می‌شود.

۱۶- **شاسی:** اکثر دیگ‌های فولادی در کارخانه بر روی پایه و یا شاسی نصب می‌گردند.

در شکل زیر یک دیگ فولادی آب‌گرم لوله آتش ساخت ویزمن وقسمت‌های مختلف آن نشان داده شده است.



شکل۲-۱۳ : قسمت‌های مختلف دیگ فولادی آب‌گرم ساخت ویزمن

مزایای دیگ‌های فولادی

دیگ‌های فولادی مزیت‌های زیادی دارند از جمله:

۱- طول عمر این دیگ‌ها بالا است.
۲- ظرفیت آنها تقریباً نامحدود است.
۳- قابلیت تحمل شوک‌های حرارتی را دارند.
۴- قابلیت تولید بخار با دما و فشار بالا را دارند و دیگ‌های لوله آتش تا ارتفاع ساختمان ۱۲۰ متر نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند البته دیگ‌های فولادی لوله آب از نظر ارتفاع ساختمان محدودیت ندارند زیرا فشارهای خیلی بالایی می‌توانند تحمل کنند.
۵- دیگ‌های فولادی لوله آتش قابلیت استفاده از تمام سوخت‌های تجاری و بعضی ضایعات تصفیه شده را دارند و به علت بزرگ بودن کوره قابلیت تطابق با هر نوع سوخت را دارند.
۶- بازده بالایی دارند.

معایب دیگ‌های فولادی

۱- قیمت آنها بالا است و به طور تقریبی می‌توان گفت که در ظرفیت‌های مشابه قیمت آنها دو برابر قیمت دیگ‌های چدنی است.
۲- چون در کارخانه به صورت یکپارچه ساخته می‌شوند حمل و نقل آنها مشکل است.
۳- در صورت خرابی هزینه تعمیر آنها بالا است.
۴- ظرفیت آنها ثابت و غیر قابل تغییر است.
۵- در موتورخانه‌هایی که از دیگ آب‌گرم فولادی یا دیگ فولادی آب داغ استفاده می‌شود نصب دستگاه سختی‌گیر یا رسوب زدا الزامیست.

انتخاب دیگ‌های فولادی

سازندگان معتبر دیگ‌های فولادی جداولی را ارائه می‌دهند که در آن ظرفیت مدل‌های مختلف بویلر و ابعاد بویلر ذکر شده است. همچنین اطلاعات مربوط به محفظه احتراق و دودکش نیز در این جداول منعکس شده است. تا بدین ترتیب طراحان و کاربران بتوانند فونداسیون مناسب بویلر را اجراء وبه بهترین شکل از آن بهره برداری کنند.

جداول۲-۱و۲-۲مربوط به بویلرهای VITOPLEX100 شرکت ویزمن است. بویلر VITOPLEX100 حجم آب زیادی داشته که این امر باعث کاهش دفعات خاموش، روشن شدن مشعل و در نتیجه حفاظت ازمحیط زیست می‌گردد. فرآیندهای پیشرفته و به‌روزی در توسعه بویلرهای متوسط و بزرگ ویزمن بکار رفته‌اند .تنشهای بویلر با کمک روش اِلمان محدود تحلیل شده‌اند و بر این اساس ساخت بویلر به صورت بهینه صورت گرفته است . بعنوان مثال نحوه شکل‌بندی و تنظیم لوله‌ها بر این اساس انجام شده است به همین ترتیب کیفیت بالای محصولات به‌واسطهٔ تکنولوژی پیشرفته تولید تضمین شده است.

جدول ۲ـ۱

PV10612	PV10610	PV10609	PV10608	PV10607	PV10606	PV10605	مشخصات	
501	401	311	251	201	151	110	از KW	محدوده ظرفیت
620	500	400	310	250	200	150	تا KW	
551	441	342	276	221	166	121	از KW	محدوده مجاز بار حرارتی
682	550	440	341	275	220	165	تا KW	
110							°C	دمای مجاز جریان (دمای مطمئن)
5							bar	فشار مجاز کار
310	230	250	230	130	120	60	Pa	افت فشار گاز داغ
								ابعاد بدنه بویلر
1830	1730	1730	1565	1385	1385	1245	mm	طول (بُعد r)
865	800	800	730	730	650	650	mm	عرض (بُعد e)
1420	1365	1365	1195	1195	1120	1120	mm	ارتفاع (بُعد l)
								ابعاد کل
1940	1840	1840	1670	1490	1490	1350	mm	طول کل (بُعد s)
1015	950	950	880	880	800	800	mm	عرض کل (بُعد f)
1585	1530	1530	1360	1360	1290	1290	mm	ارتفاع کل (بُعد b)
1760	1700	1700	1530	1530	1460	1460	mm	ارتفاع جهت نگهداری دستگاه (بُعد a)
								فونداسیون
1500	1400	1400	1300	1100	1100	1000	mm	طول
1050	950	950	900	900	800	800	mm	عرض
640	585	585	500	500	460	460	mm	قطر محفظه احتـــراق
1405	1305	1305	1185	1005	1005	865	mm	طول محفظه احتـــراق
940	785	730	525	475	415	370	kg	وزن بدنه بویلر
1005	845	790	580	525	460	415	kg	وزن کل
								بویلر با عایق حرارتی و دستگاه کنترل
535	460	490	340	280	230	200	litres	حجم آب بویلر
								اتصالات بویلر
100	100	100	65	65	65	65	PN 6 DN	جریان رفت و برگشت بویلر
1½"	1½"	1½"	1¼"	1¼"	1¼"	1¼"	(رزوه خارج) R	اتصال ایمن (شیر اطمینان)
1¼"	1¼"	1¼"	1¼"	1¼"	1¼"	1¼"	(رزوه خارج) R	درین
								پارامترهای دود [۵۱]
								دما (در دمای ۷۵ درجه سانتیگراد آب بویلر)
215	215	215	215	215	215	215	°C	• در بازده مجاز
140	140	140	140	140	140	140	°C	• در بار جزئی
								میزان جریان جرمی برای سوخت نفت EL و گاز طبیعی
951	767	614	476	384	307	230	Kg/h	• در بازده مجاز
571	460	369	286	171	184	138	Kg/h	• در بار جزئی
0	0	0	0	0	0	0	Pa/mbar	مکش مورد نیاز
250	250	250	200	200	180	180	Ømm	قطر دودکش
86(HS) / 92(Hi)							%	راندمان استاندارد در سیستم گرمایشی ۷۵ـ۶۰ درجه سانتیگراد

جدول ۲ـ۲

PV1178	PV1177	PV1176	PV1175	PV1174	PV1173	مشخصات	
1701	1351	1121	951	781	621	از KW	محدوده ظرفیت
2000	1700	1350	1120	950	780	تا KW	
1869	1485	1232	1045	858	682	از KW	محدوده مجاز بار حرارتی
2198	1868	1484	1231	1044	857	تا KW	
110						°C	دمای مجاز جریان (دمای مطمئن)
6						bar	فشار مجاز کار
600	450	400	300	500	350	Pa	افت فشار گاز داغ
							ابعاد بدنه بویلر
2825	2665	2520	2320	2070	1970	mm	طول (بُعد o)
1280	1280	1180	1180	1085	1085	mm	عرض (بُعد d)
2020	2020	1920	1920	1690	1690	mm	ارتفاع (بُعد l)
							ابعاد کل
3010	2850	2665	2465	2215	2115	mm	طول کل (بُعد p)
1485	1485	1380	1380	1285	1285	mm	عرض کل (بُعد e)
1660	1660	1555	1555	1460	1460	mm	عرض کل (بُعد f)
2020	2020	1920	1920	1690	1690	mm	ارتفاع کل (بُعد l)
							فونداسیون
2400	2250	2100	1900	1700	1600	mm	طول
1450	1450	1350	1350	1250	1250	mm	عرض
950	950	840	840	780	780	mm	قطر محفظه احتراق
2270	2110	2000	1800	1570	1470	mm	طول محفظه احتراق
3020	2780	2390	2140	1470	1390	kg	وزن بدنه بویلر
3170	2920	2525	2260	1575	1490	kg	وزن کل بویلر با عایق حرارتی و دستگاه کنترل
1767	1665	1324	1296	998	866	litres	حجم آب بویلر
							اتصالات بویلر
150	150	125	125	100	100	PN 6 DN	جریان رفت و برگشت بویلر
65	65	65	65	50	50	PN 16 DN	اتصال ایمن (شیر اطمینان)
1¼"	1¼"	1¼"	1¼"	1¼"	1¼"	(رزوه خارج)R	درین
							پارامترهای دود [۶۱]
							دما (در دمای ۷۵ درجه سانتیگراد آب بویلر)
215	215	215	215	215	215	°C	• در بازده مجاز
140	140	140	140	140	140	°C	• در بار جزئی
							میزان جریان جرمی برای سوخت نفت EL و گاز طبیعی
3070	2610	2070	1720	1460	1200	Kg/h	• در بازده مجاز
1842	1566	1242	1032	876	720	Kg/h	• در بار جزئی
0	0	0	0	0	0	Pa/mbar	مکش مورد نیاز
400	400	350	350	300	300	Ømm	قطر دود کش
92						%	راندمان استاندارد در سیستم گرمایشی ۷۵ ـ ۶۰ درجه سانتیگراد

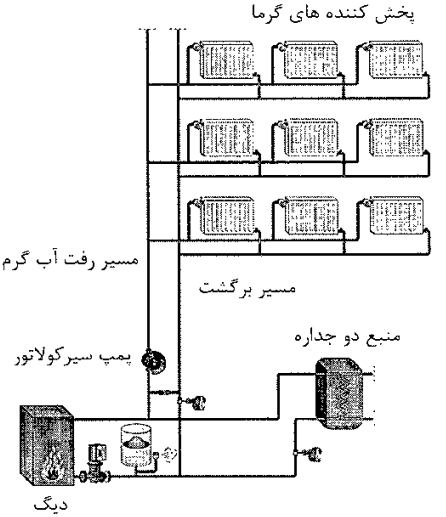
مزایای بویلرهای ویزمن

- بویلر گاز/گازوئیل سوز از ظرفیت ۱۱۰ تا ۲۰۰۰ کیلووات
- حجم بالای آب، مسیرهای آبی متعدد و به هم پوسته سبب ساده شدن اتصالات هیدرولیکی شده است
- عدم نیاز به پمپ در سیستمهای گرمایشی
- کنترل ترموستاتی VITOTRONIC100 برای سیستم تک بویلره
- سیستم کنترلی VITOTRONIC 300 با قابلیت اتصال به سستم BMS برای سیستم‌های چند بویلره
- بازده استاندارد بیش از ۹۲٪
- دمای جریان آب تا ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد

فصل ۳
کاربرد بویلرهای آب‌گرم و آب داغ

سیستم حرارت مرکزی با آب‌گرم

در سیستم حرارت مرکزی با آب‌گرم، گرمای تولید شده توسط مشعل به آب درون دیگ منتقل می‌شود. آب‌گرم شده به وسیله یک پمپ جریانی و سیستم لوله‌کشی در وسایل پخش کننده گرما (مانند رادیاتور، فن‌کویل، یونیت‌هیتر و....) جریان یافته و در اثر عبور آب‌گرم از این وسایل، گرمای آب به هوای اتاق با مکانیزم‌های مختلف (تابش، جابجایی طبیعی یا اجباری) منتقل می‌شود و دمای آب‌گرم پایین می‌آید و برای جذب گرمای مجدد به طرف دیگ برمی‌گردد. شکل (۳-۱) نمای ساده یک سیستم حرارت مرکزی با آب‌گرم را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱: نمای ساده یک سیستم حرارت مرکزی با آب‌گرم

استفاده از پمپ سیرکولاتور در مسیر برگشت ممنوع است و باید در مسیر رفت باشد. در غیر اینصورت مدار هوا می‌گیرد. همچنین سیستم تاسیسات در ارتفاع پایین‌تری نسبت به پخش کننده‌های گرما قرار می‌گیرند و در اصطلاح آب موجود در سیستم تاسیسات بر موتورخانه سوار است.

انواع سیستم‌های حرارت مرکزی با آب‌گرم

طبق تعریف مبحث چهاردهم مقررات ملی ساختمان سیستم‌های حرارت مرکزی با آب‌گرم براساس حداکثر دمای آب به سه دسته تقسیم‌بندی می‌شوند:

دما پایین(LTW)[1]: ماکزیمم دمای آب در این سیستم۱۰۰°C است. حداکثر فشار کارکرد این سیستم‌ها ۲bar می‌باشد و به طور کلی این سیستم‌ها برای گرم کردن فضا در خانه‌ها، ساختمان‌های مسکونی، ادارات و ... مورد استفاده قرار می‌گیرند و طراحی آنها ساده است.

دما متوسط(MTW)[2]: محدوده دمای آب در این سیستم بین ۱۲۰°C–۱۷۵است. به این سیستم‌ها سیستم آب‌داغ نیز گفته می‌شود. حداکثر فشار کارکرد این سیستم‌ها ۱۰/۳bar می‌باشد. این سیستم‌ها معمولاً در سیستم‌های توزیع آب‌گرم در مقیاس بزرگ مانند توزیع آب‌گرم منطقه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد.

دما بالا(HTW)[3]: محدوده دمای آب در این سیستم بین ۱۷۶°C–۲۳۰ است. حداکثر فشار کارکرد در این سیستم‌ها حدود ۲۱bar است و فشار سیستم با دقت باید تحت کنترل باشد و از فشار اشباع کمتر نشود در غیر اینصورت آب‌گرم تبدیل به بخار می‌شود و به دیگ و بقیهٔ تجهیزات آسیب وارد می‌شود. این سیستم‌ها بیشتر در ساختمان‌های بزرگ، هتل‌ها، بیمارستان‌ها و صنعت مانند صنایع غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

اجزای سیستم حرارت مرکزی آب‌گرم

سیستم حرارت مرکزی با آب‌گرم از اجزای زیر تشکیل شده است:

دستگاه‌های مولد آب‌گرم

این قسمت وظیفه تولید آب‌گرم را بر عهده دارد که شامل انواع مشعل و دیگ آب‌گرم است. گرمای حاصل از احتراق سوخت توسط مشعل به آب درون دیگ انتقال یافته و موجب گرم شدن آب عبوری داخل دیگ می‌شود.

سیستم انتقال آب‌گرم

این سیستم وظیفه انتقال آب‌گرم تولید شده توسط دستگاه‌های مولد آب‌گرم به سمت دستگاه‌های پخش‌کننده گرما را بر عهده دارد که شامل سیستم لوله‌کشی بین دستگاه‌های پخش کننده و تولیدکننده گرما و پمپ سیرکولاتور است. جریان گردش آب ممکن است به طور طبیعی براساس اختلاف دمای آب رفت و برگشت نیز صورت گیرد. برای بالا بردن سرعت آب و کاهش قطر لوله‌ها، امروزه معمولاً از سیستم پمپی استفاده می‌شود. به وسیله سیستم انتقال آب‌گرم، آب با حجمی ثابت، پیوسته بین دستگاه‌های تولیدکننده و پخش‌کننده گرما در گردش است.

1- Low Temperature Water Heating Systems
2- Medium Temperature Water Heating Systems
3- High Temperature Water Heating Systems

دستگاه‌های پخش‌کننده گرما

این دستگاه‌ها نقش مبدل حرارتی را دارند و توسط این دستگاه‌ها حرارت از آب‌گرم گرفته و به فضای اتاق داده می‌شود. این دستگاه‌ها شامل یونیت‌هیترها، رادیاتورها، فن‌کویل‌ها، کنوکتورها و ... هستند.

کنترل کننده‌ها

کنترل کننده‌ها برای تنظیم سیستم‌های تاسیساتی از نظر فشار، درجه حرارت و ... مورد استفاده قرار می‌گیرند که بعضی از آنها برای نشان دادن شرایط کارکرد(نشان‌دهنده‌ها) و بعضی به منظور کنترل سیستم (کنترل کننده‌ها) نصب می‌شوند. این اجزاء جهت راهبری و نگهداری صحیح سیستم ضرورت دارند. از نشان‌دهنده‌ها می‌توان به ترمومتر، مانومتردیگ، آب‌نمای مخزن گازوئیل و آب‌نمای مخزن انبساط اشاره کرد و از کنترل کننده‌ها می‌توان به ترموستات دیگ، ترموستات اتاقی، شیراطمینان، شیر دوراهه یا سه‌راهه موتوری و شیر هواگیر اتوماتیک اشاره کرد.

مخازن

سیستم‌های حرارت مرکزی دارای مخازنی با اهداف خاص هستند. این مخازن عبارتند از مخزن گازوئیل برای نگهداری گازوئیل مصرفی در زمان خاصی از سال، مخزن گازوئیل روزانه، مخزن انبساط بسته، مخزن انبساط باز، مخزن آب‌گرم مصرفی.

پس از محاسبه بار گرمایشی فضاهای مختلف ساختمان، با توجه به نوع سیستم گرمایشی و شرایط ساختمان باید دستگاه‌های پخش‌کننده گرمای مناسب برای فضاهای مختلف ساختمان انتخاب گردد. دستگاه‌های پخش کننده گرما وسایلی هستند که از آنها برای جبران تلفات حرارتی ساختمان و گرم نگه داشتن فضای مورد نظر استفاده می‌شود. در این دستگاه‌ها سیال گرم (آب‌گرم، آب داغ و یا بخار) جریان داشته و انرژی حرارتی خود را از طریق سطح تبادل کننده حرارت به محیط منتقل می‌کند در اصل این وسایل نقش یک مبدل حرارتی را دارند.

عوامل موثر بر انتقال حرارت دستگاه‌های پخش‌کننده گرما

همانطور که اشاره شد دستگاه‌های پخش‌کننده گرما در اصل مبدل‌های حرارتی می‌باشند که طبق رابطه انتقال حرارت کلی مقدار انتقال حرارت آنها وابسته به عوامل زیر است:

سطح حرارتی دستگاه

با افزایش سطح حرارتی این دستگاه‌ها نرخ انتقال حرارت آنها به محیط افزایش می‌یابد برای مثال در یونیت‌هیترها و فن‌کوئل‌ها جهت افزایش نرخ انتقال حرارت و در نتیجه بازده، سطح حرارتی آنها را توسط فین یا پره‌های آلومینیمی یا مسی افزایش می‌دهند.

اختلاف دما

یک رابطه خطی بین مقدار انتقال حرارت جابجایی و اختلاف دمای متوسط سیال موجود در دستگاه پخش‌کننده گرما و هوای اتاق وجود دارد و با افزایش اختلاف دمای سیال ورودی به دستگاه پخش‌کننده گرما و هوای اتاق مقدار انتقال حرارت افزایش می‌یابد. اما با توجه به اینکه داغ بودن بیش از حد سطح

دستگاه پخش‌کننده گرما ممکن است در اثر تماس با بدن موجب سوختگی شود لذا مجاز نیستیم که دمای سیال ورودی به دستگاه را بیش از حد افزایش دهیم.

سرعت جریان هوا

با افزایش سرعت جریان هوای برخوردی به سطح دستگاه‌های پخش‌کننده گرما، ضریب انتقال حرارت جابجایی افزایش یافته و در نتیجه مقدار انتقال حرارت افزایش می‌یابد. به همین دلیل است که حرارت دهی یونیت‌هیترها و فن‌کویل‌ها بیشتر از رادیاتورها است زیرا در آنها هوا توسط فن بر روی سطح کویل‌ها جریان دارد (جابجایی اجباری) در حالیکه در رادیاتورهای معمولی جریان هوا بصورت طبیعی در حال گردش است.

جنس

جنس سطح تبادل حرارت تاثیر زیادی بر مقدار انتقال حرارت دارد و باید ضریب هدایت آن بالا باشد. به همین دلیل کویل‌های یونیت‌هیتر و فن‌کویل را معمولاً از جنس مس می‌سازند.

انواع دستگاه‌های پخش‌کننده گرما و نحوه انتخاب آنها

رادیاتورها[1]

رادیاتورها وسایلی هستند که حرارت را از طریق جابجایی طبیعی (۷۵ الی ۸۰ درصد) و تابش(۲۰ الی ۲۵ درصد) به هوای اتاق منتقل می‌کنند که از نظر جنس و شکل انواع مختلفی دارند. رادیاتورها از نظر جنس به سه دسته فولادی، چدنی و آلومینیمی و از نظر شکل به سه دسته پره‌ای، تخت(پانلی) و لوله‌ای تقسیم‌بندی می‌شوند.

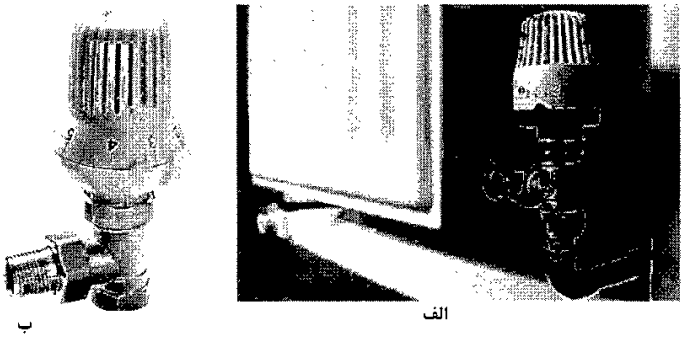
اجزای رادیاتورها

شیر رادیاتور: برای قطع جریان و یا کنترل مقدار جریان آب در رادیاتور، سر راه ورود آب‌گرم به رادیاتور، شیرمخصوصی به نام شیر رادیاتور نصب می‌گردد. شیر رادیاتور معمولاً دوبل رگلاژ است به این معنی که داخل شیر نیز یک قسمت تنظیم شونده وجود دارد که به‌وسیله آن می‌توان مقطع عبور آب را تنظیم نمود. شیر رادیاتور در حقیقت یک نوع شیر بشقابی زاویه‌ای است. یک طرف این شیرحالت مهره ماسوره‌ای دارد که به رادیاتور متصل می‌گردد و طرف دیگر آن که از داخل به صورت دنده است به لوله ورود آب‌گرم وصل می‌شود. نمونه‌ای از شیر رادیاتور در شکل(۳-۲) آمده است.

شکل۳-۲: شیر رادیاتور

1- Radiator

در صورتیکه گرما از منبع خارجی(مانند تابش خورشید، افزایش تعداد ساکنین و یا تجهیزات و لوازم برقی) به فضا تحمیل شود دمای هوای اتاق افزایش می‌یابد در نتیجه ساکنین اتاق مجبور به بازکردن پنجره‌ها می‌شوند لذا مقدار زیادی انرژی هدر می‌رود و مصرف انرژی بالا می‌رود. برای جلوگیری از این اتلاف و بهینه سازی مصرف انرژی توصیه می‌شود که بجای استفاده از شیردستی رادیاتور از شیر خودکار حرارتی رادیاتور (شیر ترموستاتیکی) استفاده شود. بوسیله شیر ترموستاتیکی می‌توان درجه حرارت محلی را که رادیاتور در آن نصب شده است را کنترل کرد. همچنین با استفاده از این شیرها می‌توان دمای حمام و اتاق خواب کودکان را نسبت به دمای اتاق نشیمن و اتاق‌های دیگر افزایش داد همچنین می‌توان دماهای متفاوتی برای ساختمان در روز و شب تنظیم نمود که ضمن تأمین شرایط آسایش حرارتی برای ساکنین اتاق موجب کاهش مصرف انرژی (حدود ۱۵ الی ۲۰ درصد) نیز می‌شود. این شیرها دارای یک قطعه آکاردئونی فلزی شکل (فانوسه) هستند که با یک نوع گاز پر شده است. در اثر بالا رفتن درجه حرارت محل، این گاز منبسط شده و مجرای عبور آب را تنگ می‌کند در نتیجه دبی آب‌گرم ورودی به رادیاتور کاهش یافته و توان حرارتی رادیاتور و درجه حرارت هوای محل کم می‌شود. با سرد شدن هوای محل، مجدداً حجم گاز کم شده و قطعه آکاردئونی جمع می‌شود و مجرای عبور آب بازتر می‌گردد، در نتیجه مقدار دبی آب‌گرم ورودی به رادیاتور بیشتر شده و توان حرارتی رادیاتور و درجه حرارت هوای محل افزایش می‌یابد. در شکل۳-۳ یک شیرترموستاتیکی و طریقه اتصال آن به رادیاتور نشان داده شده است.



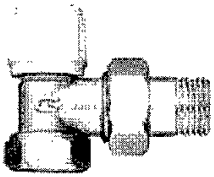
ب الف

شکل۳-۳: الف) یک نمونه اتصال شیر ترموستاتیکی به رادیاتور ب) شیر ترموستاتیکی

در شیر ترموستاتیکی شکل۳-۳ چون قسمت فانوسه بر روی شیر قرار دارد و شیر نیز بر روی لوله رفت آب‌گرم و رادیاتور نصب شده است لذا هم گرمای حاصل از هدایت و هم گرمای هوای گرم شده توسط رادیاتور بر آن اثر می‌کند و از هوای محل کمتر تاثیر می‌پذیرد در نتیجه نمی‌تواند به خوبی دمای هوای محیط را کنترل کند. برای رفع این مشکل و کنترل بهتر هوای محل، می‌توان از شیرهای ترموستاتیکی مخصوصی که فانوسه آنها جدا از شیر است استفاده کرد. فانوسه را باید در محل مناسبی(دور از نور مستقیم خورشید، پنجره و درب ورودی) بر روی دیوار نصب کرد، در این حالت ارتباط فانوسه با شیر به وسیله یک لوله مویی است. شیرهای ترموستاتیکی به وسیله دست نیز قابل باز و بسته شدن هستند.

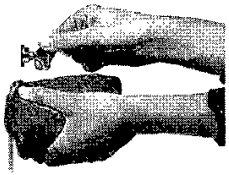
شیرهای ترموستاتیکی نسبت به کیفیت آب داخل سیستم و رسوب خیلی حساس هستند. شیرهای ترموستاتیکی قابلیت نصب بر روی انواع رادیاتورهای قدیمی و جدید را دارند.

زانو قفلی رادیاتور: بر روی لوله برگشت رادیاتور، زانوی مخصوصی به نام زانو قفلی نصب می‌گردد که برای بالانس کردن سیستم به صورت مصنوعی و هنگام جدا کردن رادیاتور (موقع تعمیر) مورد استفاده قرار می‌گیرد. یک طرف این زانو مانند شیر رادیاتور حالت مهره ماسوره دارد که بر روی رادیاتور نصب می‌شود و طرف دیگر آن که از داخل به صورت دنده است بر روی لوله‌ی خروجی رادیاتور نصب می‌گردد. ساختمان زانو قفلی مانند شیر است و به وسیله آن می‌توان مجرای عبور آب خروجی از رادیاتور را باز و بسته نمود با این تفاوت که قسمت عمل کننده آن که در زیر در زانو قرار گرفته به طور معمول به وسیله آچار آلن باز و بسته می‌شود. باید توجه داشت که هنگام جداسازی رادیاتور از شبکه لوله‌کشی هم شیر رادیاتور (لوله رفت) و هم زانو قفلی (لوله برگشت) را باید بست و سپس اقدام به باز کردن مهره ماسوره‌ها و رادیاتور نمود. تا چند سال پیش، زانوهای رادیاتور فاقد قسمت شیر داخلی بود به همین علت امکان جداسازی یک رادیاتور از شبکه، در حالی که بقیه رادیاتورها در حال کار بودند، وجود نداشت.



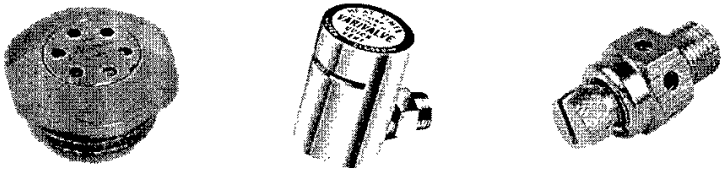
شکل۳-۴: زانو قفلی رادیاتور

شیر هواگیری رادیاتور: برای تخلیه هوای داخل شبکه لوله‌کشی و رادیاتورها، در زمان آب‌اندازی و نیز خارج نمودن حباب‌های هوایی (هوا در خلل و فرج‌های سطح دیگ به تله افتاده که در اثر گرم شدن آب در دیگ از دیواره آن جدا شده و همراه جریان آب‌گرم از طریق شبکه لوله‌کشی به داخل رادیاتور هدایت می‌شوند) در بالای رادیاتور یک شیر مخصوص به نام شیر هواگیری نصب می‌کنند. شیرهای هواگیری رادیاتور در دو نوع دستی و خودکار به بازار عرضه می‌شوند. در شکل ۳-۵ نحوه هواگیری را با استفاده از شیر هواگیری دستی رادیاتور نشان می‌دهد.

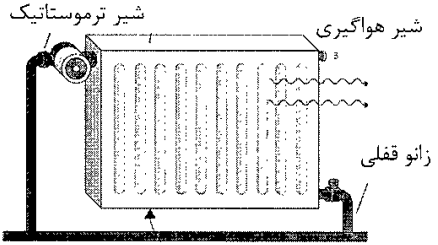


شکل۳-۵: شیرهواگیری دستی رادیاتور

در ساختار شیرهای هواگیری نوع خودکار از شناور متصل به یک سوزن استفاده شده است که در صورت وجود هوا در محفظه شیر شناور و سوزن متصل به آن پایین آمده و مجرای خروج هوا باز می‌شود. با خارج شدن هوا و ورود آب به محفظه، سوزن همراه شناور بالا آمده و مجرا را می‌بندد. استفاده از این شیرها به دلیل گرانی، آب‌بندی نشدن و چکه کردن آب از آنها، رایج نیست. در شکل۳-۶ چند نمونه از این شیر نشان داده شده است.



شکل۳-۶: چند نمونه شیر هواگیری خودکار



شکل۳-۷: محل اجزای مختلف رادیاتور

انواع رادیاتورها از نظر شکل ظاهری

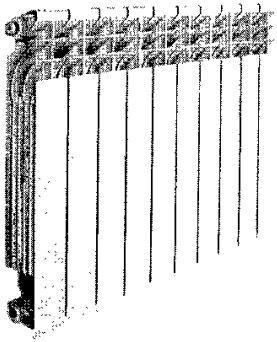
رادیاتورها از نظر شکل ظاهری به سه دسته تقسیم می‌گردند:

- پره‌ای
- تخت (پانلی)
- لوله‌ای

رادیاتور پره‌ای

این رادیاتورها از تعدادی پره تشکیل شده‌اند که هر پره دارای توان حرارتی مشخصی است لذا براساس بار حرارتی اتاق تعداد پره‌های لازم تعیین می‌شوند. جنس این رادیاتورها معمولاً از آلیاژهای آلومینیومی می‌باشد. از مزایای رادیاتورهای پره‌ای می‌توان به دو مورد زیر اشاره کرد:

- ✓ امکان کاهش یا افزایش پره و در نتیجه افزایش یا کاهش توان حرارتی رادیاتور.
- ✓ امکان تعویض پره‌های (درصورتیکه آسیب دیده باشد).



شکل۳-۸: رادیاتور پره‌ای

رادیاتور تخت(پانلی)

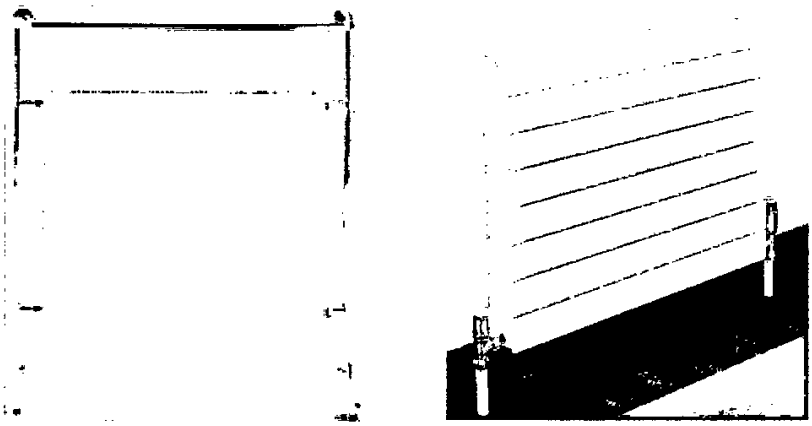
در اکثر مواقع از جنس فولاد می‌باشند. امروزه در اکثر کشورهای اروپایی رواج پیدا کرده است. برخی از ویژگی‌ها و مزایای این نوع رادیاتورها بشرح ذیل می‌باشد:

- ✓ یکنواختی بیشتر در گرمایش نسبت به رادیاتورهای پره‌ای
- ✓ سطح تابش یکنواخت و گسترده و نسبت به رادیاتور پره‌ای سهم انتقال حرارت تابشی آنها بیشتر است.
- ✓ زیبایی و تناسب با اغلب طرح‌های دکوری
- ✓ نصب یکپارچه و آب‌بندی خوب

برخی از معایب رادیاتورهای پانلی عبارتند از:

- ✓ به‌علت استفاده از فولاد ، امکان زنگ زدن و سوراخ شدگی نسبت به انواع آلومینیومی بویژه در بلند مدت وجود دارد.
- ✓ در صورت آسیب و سوراخ شدن پانل رادیاتور تعمیر آن مقرون بصرفه نیست.(کل پنل باید تعویض شود.)
- ✓ امکان افزایش یا کاهش ظرفیت حرارتی رادیاتور به پانل وجود ندارد. (در چنین مواردی می‌توان با انشعاب از لوله رفت و برگشت شوفاژ و استفاده از پانل رادیاتور جداگانه ، ظرفیت حرارتی را افزایش داد).

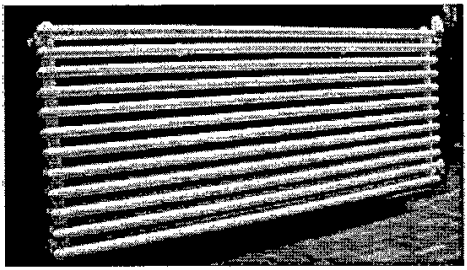
رادیاتورهای پانلی فولادی از نظر راندمان و کارایی بهترین نوع رادیاتور هستند به شرط آن که از یک تولید کننده مطمئن و دارای تکنولوژی روز تهیه شوند.



شکل۳-۹: رادیاتورهای تخت (پانلی)

رادیاتورهای لوله‌ای

این نوع رادیاتورها از لوله‌های فولادی با ابعاد و اندازه‌های متنوع به صورت عمودی و یا افقی ساخته می‌شوند که دارای طراحی ویژه بوده و به مکان‌های مسکونی زیبائی خاصی می‌دهند.



شکل۳-۹: رادیاتور لوله‌ای افقی

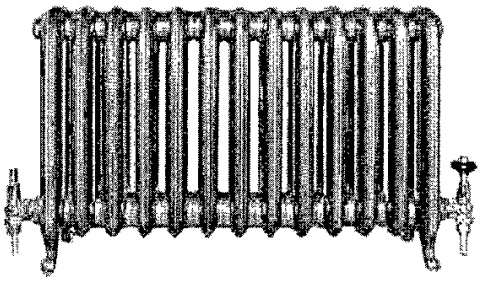
انواع رادیاتورها از نظر جنس

رادیاتورها از نظر جنس به سه دسته تقسیم می‌شوند:

- چدنی
- فولادی
- آلومینیومی

رادیاتورهای چدنی

رادیاتورهای چدنی به صورت پره‌ای و به روش ریخته‌گری در ابعاد و اندازه‌های مختلف از چدن ساخته می‌شوند. اتصال پره‌های این رادیاتور به یکدیگر به وسیله مغزی چپ‌گرد- راست‌گرد و یا مغزی‌های جازدنی (که دو سر آن به صورت کونیک تراشیده شده است) انجام می‌شود. این رادیاتورها برای کار در فشار۴ اتمسفر و تحمل حداکثر درجه حرارت۱۱۰°C مناسب هستند. مزیت این رادیاتورها نسبت به رادیاتورهای فولادی، مقاومت بیشتر آنها در مقابل زنگ‌زدگی است و به همین دلیل برای فضاهای مرطوب مثل حمام بسیار مناسب است. معایب این رادیاتورها شکنندگی و وزن زیاد است. لازم به ذکر است که با متداول شدن رادیاتورهای آلومینیومی، روز به روز کاربرد رادیاتور چدنی کمتر شده است زیرا راندمان حرارتی پایین و وزن زیادی دارند. وزن این رادیاتورها برای هر متر مربع به ۲۰ تا ۳۰ کیلوگرم می‌رسد. در شکل ۳-۱۰ یک نمونه از رادیاتور چدنی نشان داده شده است.



شکل۳-۱۰: رادیاتور چدنی

رادیاتورهای فولادی

رادیاتورهای فولادی از ورق‌های آهنی به ضخامت (۱/۲۵ میلی‌متر) در ابعاد و اندازه‌های مختلف، معمولاً به صورت پره‌ای ساخته می‌شوند. هر پره رادیاتور شامل دو صفحه پرس شده است که بر روی هم قرار گرفته، لبه

آنها به یکدیگر جوش مقاومتی داده می‌شود. با قرار گرفتن دو صفحه پرس شده بر روی هم، مسیرهایی برای عبور آب در حد فاصل دو صفحه ایجاد می‌گردد. پره‌های تولید شده، در کارخانه با جوش و یا با استفاده از دنده‌های چپ گرد و راست گرد به یکدیگر متصل می‌شوند تا رادیاتور با تعداد پره مورد نظر تولید شود. از این رو پره رادیاتورهای فولادی به صورت یک بلوک غیر قابل تفکیک تولید می‌شوند و قابلیت افزودن یا کاستن پره را ندارند. این رادیاتورها از نظر ارتفاع و پهنا در اندازه‌های مختلفی ساخته شده و به بازار عرضه می‌شوند که هرکدام برحسب ابعاد و اندازهٔ محل نصب رادیاتور در داخل ساختمان، مورد استفاده قرار می‌گیرند. اندازه رادیاتورهای فولادی برحسب پهنای پره و ارتفاع محور تا محور کلکتورهای بالا و پایین آن بیان می‌شوند برای مثال منظور از رادیاتور (۵۰۰×۲۰۰×۲۵)، رادیاتور (۲۵) پره با پره‌هایی به پهنای (۲۰۰ میلی‌متر) و ارتفاع محور تا محور لوله‌های رفت و برگشت (۵۰۰ میلی‌متر) است. به هر رادیاتور یک لوله رفت و یک لوله برگشت آب‌گرم وصل می‌شود که اگر تعداد پره‌ها کمتر از ۲۵ عدد باشد معمولاً لوله‌های رفت و برگشت به یک طرف آن متصل می‌شوند ولی اگر تعداد پره‌ها بیشتر از ۲۵ عدد باشد الزاماً باید لوله‌های رفت و برگشت در طرفین رادیاتور باشند (یعنی لوله رفت در یک طرف و لوله برگشت آب در طرف دیگر رادیاتور باشد) در غیر اینصورت دمای پره‌های رادیاتور یکنواخت نخواهد بود و دمای پره‌های نزدیک به لوله‌های رفت و برگشت بیشتر از پره‌های انتها خواهد شد.

رادیاتورهای فولادی از لحاظ قیمت به صرفه هستند ولی مشکلاتی از قبیل حساسیت در برابر ضربه و خوردگی، عدم تحمل فشار زیاد سیستم، تنوع نداشتن از نظر شکل و نداشتن قابلیت تغییر طول (عدم قابلیت اضافه یا کم کردن پره) را دارند.

رادیاتورهای آلومینیمی

رادیاتورهای آلومینیمی از جنس آلیاژهای آلومینیوم بوده و به نسبت رادیاتورهای چدنی و فولادی قدمت کمتری دارند. این رادیاتورها در اصل از لوله‌های عمودی تشکیل شده‌اند که بر روی سطح خارجی آنها پره‌های شعاعی نصب شده و سپس جهت تشعشع بیشتر، انتهای پره‌های شعاعی مربوط به هر لوله را با یک سطح تخت به همدیگر وصل می‌کنند. این رادیاتورها به صورت پره‌ای و معمولاً در بلوک‌های (۵)، (۷) و (۱۰) پره به بازار عرضه می‌شوند. لبه کلکتور بالا و پایین این رادیاتورها در یک طرف از داخل رزوه راست گرد و در طرف دیگر رزوه چپ‌گرد می‌شود، به این ترتیب رادیاتورها را می‌توان به وسیله مغزی‌هایی که نصف طول آن دنده راست‌گرد و نصف دیگر آن. چپ‌گرد است به یکدیگر متصل نمود. برای مثال برای رادیاتور (۱۵) پره، یک بلوک رادیاتور (۵) پره را با یک بلوک رادیاتور (۱۰) پره به هم متصل می‌کنند. رادیاتورهای آلومینیومی نسبت به فولادی سبک تر، زیباتر و ضریب هدایت حرارتی بالاتری دارند ولی از لحاظ قیمت گرانتر می‌باشند. در فضاهایی که رطوبت زیادی دارند (مانند حمام‌ها، زیرزمین‌ها و سرویس‌ها) توصیه می‌شود که از این نوع رادیاتورها استفاده شود زیرا در برابر زنگ زدگی مقاوم هستند.

رادیاتورهای آلومینیومی در انواع مختلفی از نظر پهنا، ضخامت پره، ارتفاع محور تا محور کلکتورهای بالا و پایین، شکل ظاهری، قدرت حرارتی با شرایط استاندارد، تولید و به بازار عرضه می‌شوند.

معیار انتخاب رادیاتور

یک رادیاتور مناسب از نظر کارایی انرژی برای یک فضای مشخص باید ویژگی‌های زیر را داشته باشد:

۱- **ظرفیت حرارتی بالا:** جهت استفاده بهینه از سوخت ظرفیت حرارتی رادیاتور باید بالا باشد.

۲- **سرعت پاسخ بالا:** بار حرارتی فضاها ثابت نبوده و در طول شبانه روز دائم در حال تغییر است برای مثال در روز به دلیل تابش خورشید، استفاده از تجهیزات گرمازا مانند اجاق، اتو،

کامپیوتر و سایر لوازم برقی و حرارتی بار حرارتی فضا کاهش می‌یابد و این منابع گرمازا بخشی از انرژی لازم برای گرمایش فضا را تأمین می‌کنند جهت استفاده بهینه از انرژی، سیستم گرمایشی فضا باید این قابلیت را داشته باشد تا با فعال شدن هر یک از این منابع، خود را به سرعت با شرایط محیط تطبیق داده و دمای اتاق را همواره در مقدار معینی ثابت نگه دارد به عبارتی دیگر اینرسی حرارتی آن پایین باشد(سرعت پاسخ‌دهی بالا باشد). رادیاتورها نیز به عنوان جزءی از این سیستم باید اینرسی حرارتی آن پایین باشد. اینرسی حرارتی رادیاتورها وابسته به وزن و حجم آبگیری[1] آنها است بطوری که با افزایش وزن و حجم آبگیری آنها ، اینرسی حرارتی بالاتر و در نتیجه زمان پاسخ‌دهی بیشتر می‌شود. توجه شود که حجم آبگیری و وزن رادیاتورها در کاتالوگ‌ها آمده است.

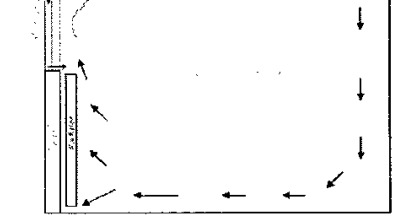
۳- **وزن کم:** همانطور که در بالا اشاره شد با کاهش وزن رادیاتورها زمان پاسخ‌دهی آنها بیشتر می‌شود. برای مثال برای دو رادیاتور مشابه از نظر ابعادی، چگالی کم آلومینیم نسبت به فولاد، باعث می‌شود تا رادیاتور آلومینیمی پاسخ سریع‌تری نسبت به رادیاتور فولادی مشابه داشته باشد.

۴- **قیمت ارزان**

۵- **مقاوم در برابر خوردگی:** آب داخل رادیاتورها خنثی نیست در نتیجه فلزات غیر همنام با یکدیگر تشکیل پیل قطبی داده و خوردگی ایجاد می‌شود برای حل این مشکل بعضی از سازندگان رادیاتور داخل آن را به روش الکترواستاتیک رنگ می‌زنند که این کار علاوه بر اینکه جلوی خوردگی را می‌گیرد از هوا گرفتن رادیاتور نیز جلوگیری می‌کند.

محل نصب رادیاتور و نکات اجرایی

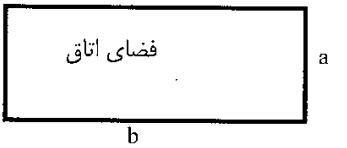
همانطور که اشاره شد ۲۰ الی ۲۵ درصد مکانیزم انتقال حرارت پره‌های آلومینیومی، تشعشعی و ۷۵ الی ۸۰ درصد مکانیزم انتقال حرارت دیگر، جابجایی است. بنابراین رادیاتورها باید در جایی نصب شوند که دید تابشی و جابجایی هوای بیشتر داشته باشند. بنابراین مناسب است که رادیاتورها را در زیر پنجره‌ها و ورودی راهروها نصب کنیم زیرا در آنجا جابجایی هوا بیشتر است و نیروی شناوری ایجاد شده در بالای رادیاتور(با برخورد هوا به سطح رادیاتور، گرم شده در نتیجه چگالی آن پایین می‌آید و به طور طبیعی به سمت بالا حرکت می‌کند) ورود هوای سرد شده روی وجه داخلی پنجره و نفوذ هوای سرد از درزهای پنجره به درون اتاق را کاهش می‌دهد(شکل۳-۱۱)که باعث می‌شود دمای اتاق یکنواخت‌تر باشد.



شکل۳-۱۱: جریان هوا در اطراف رادیاتور

1- Water Content

- ✓ در اتاق‌هایی که مستطیلی شکل هستند بهتر است رادیاتور را در ضلعی نصب کنیم که سطح تابش آن بیشتر است. برای مثال اگر اتاقی به شکل (۳-۱۲) داشته باشیم بهتر است رادیاتور را در ضلع a نصب کنیم.

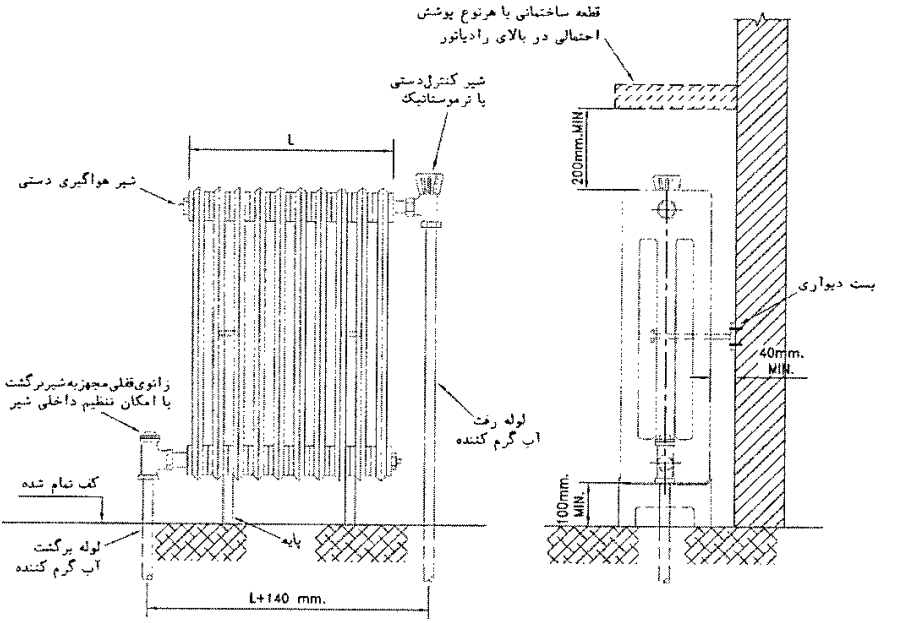


شکل۳-۱۲: شماتیک فضای اتاق

توجه شود که به هیچ عنوان نباید در مقابل رادیاتورها موانعی قرار گیرند که مانع تشعشع آن‌ها شود. فاصله رادیاتور از دیوارپشت و کف زمین به ترتیب باید حداقل ۴ و ۱۰ سانتیمتر باشد تا هوا به خوبی در اطراف آن جریان داشته باشد.

از نصب کردن رادیاتورها داخل فرورفتگی دیوار یا قاب و پشت پرده خوداری شود زیرا این امر باعث کاهش راندمان حرارتی آنها می‌شود زیرا هم تابش آنها کمتر می‌شود و هم جریان هوا مختل می‌شود. و درصورتیکه قطعه یا پوششی بالاسر آن قرار گیرد باید حداقل ۲۰ سانتیمتر بالاتر از سر رادیاتور قرار گیرد.

لوله‌های رفت و برگشت به رادیاتور ممکن است نمایان، زیر کف یا داخل دیوار اجراء شود. رادیاتور باید با بست‌های مناسب، در محل نصب، به زمین و دیوار پشت متصل و محکم شود.



شکل۳-۱۳: جزئیات نصب رادیاتور

یونیت‌هیتر آب‌گرم

یونیت‌هیتر[1] یا واحد گرم کننده، دستگاهی است که از آن برای گرم کردن فضاهای بزرگ (نظیر سالن‌های سرپوشیده ورزشی، کارخانه‌ها، فضاهایی که نیاز به توان حرارتی بالایی است) که تولید صدا مهم نباشد استفاده می‌شود. هر دستگاه یونیت‌هیتر از قسمت‌های مختلفی به شرح زیر تشکیل شده است:

کویل با لوله‌های پره‌دار: در داخل کویل آب‌گرم، آب‌داغ و یا بخار به عنوان حامل انرژی حرارتی جریان دارد. برحسب نوع یونیت هیتر، کویل ممکن است صاف، مکعبی شکل، گرد و یا دایره‌ای شکل باشد. معمولاً کویل‌های آب‌گرم و بخار به‌ترتیب از لوله‌های مسی و فولادی بدون درز ساخته می‌شوند.

فن: این قسمت وظیفه عبور دادن هوا به صورت اجباری از روی کویل و به جریان انداختن هوا در داخل فضای گرم شونده را بر عهده دارد و از نظر برق مصرفی در دو نوع سه فاز و تک فاز و دو سرعت ۹۰۰ و ۱۴۵۰ دور در دقیقه در بازار موجود می‌باشند. این فن برحسب ظرفیت و فشار هوادهی ممکن است از نوع ملخی (پنکه‌ای) و یا سانتریفوژ (گریز از مرکز) باشد. فن دستور خاموش یا روشن شدن را از ترموستات می‌گیرد که در محیط و یا در مسیر برگشت هوا نصب می‌شود.

- **پره‌های جهت‌دهنده هوا:** به وسیله این پره‌ها می‌توان هوای خروجی از یونیت هیتر را به قسمت‌های مختلف محل گرم شونده هدایت نمود.
- **کابینت و یا محفظه**: قسمتی است که پروانه و کویل در داخل آن و پره‌های جهت دهنده هوا بر روی آن نصب می‌گردند که معمولاً از جنس فولاد گالوانیزه می‌باشد.
- **متعلقات:** هر یونیت‌هیتر بر حسب نیاز می‌توان دارای متعلقات زیر باشد:

۱) جعبه فیلتر[2]: برای فیلتر کردن و گرفتن ذرات معلق موجود در هوای ورودی

۲) جعبه اختلاط[3]: این جعبه امکان اختلاط هوای بیرون(هوای تازه) و هوای برگشتی را فراهم می‌کند و به کمک آن می‌توان درصد هوای تازه را کنترل کرد.

۳) جعبه برگشت هوا[4]: هوای برگشتی از طریق این جعبه وارد یونیت‌هیتر می‌شود.

۴) جعبه هوای بیرون[5]: ارتباط یونیت‌هیتر با کانال هوای بیرون(هوای تازه) را فراهم می‌کند و هنگامی مورد استفاده قرار می‌گیرد که نیاز باشد هوای تازه وارد محیط شود.

۵) طاقچه[6]: از طاقچه برای نصب یونیت‌هیتر بر روی دیوار استفاده می‌شود.

انواع یونیت‌هیترها

یونیت‌هیترها به روش‌های مختلفی به شرح زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

۱- از نظر سیال واسطه: از نظر سیال انتقال دهنده انرژی، یونیت هیترها به سه نوع آبی، بخار و برقی تقسیم‌بندی می‌شوند.

۲- از نظر نوع پروانه (فن): از نظر نوع فن بکار رفته، یونیت هیترها به انواع پروانهٔ ملخی (پروانه پنکه‌ای) و پروانه سانتریفوژ دسته‌بندی می‌شوند که با دورهای 900RPM (دور پائین) و 1450RPM (دور بالا) به بازار عرضه می‌شوند.

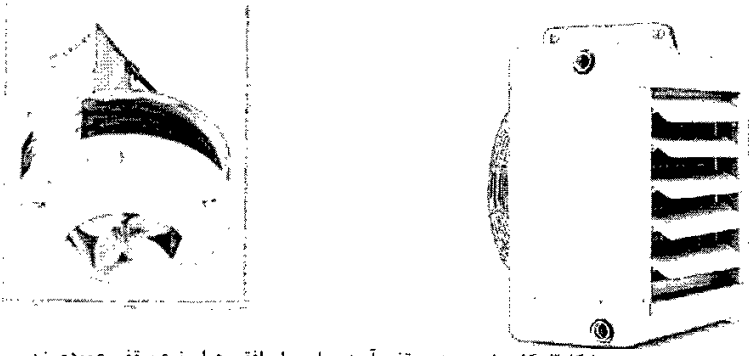
1- Unit Heater
2- Filter Box
3- Mixing Box
4- Return Air Box
5- Outside Air Box
6- Wall Bracket

۳- از نظر ترتیب قرارگرفتن اجزا: از نظر ترتیب قرارگرفتن اجزا یونیت‌هیترها به دو دسته تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱-نوع مکنده: در این نوع یونیت‌هیترها کویل قبل از فن قرار گرفته است و هوا به وسیله پروانه از روی کویل مکیده می‌شود. در این نوع یونیت‌هیترها فن گرم می‌شود.

۲- نوع دمنده: در این نوع یونیت‌هیترها بر خلاف نوع مکنده کویل بعد از فن قرار گرفته و در آن هوا به وسیله فن بر روی کویل دمیده می‌شود.

از نظر محل نصب: براساس محل نصب، یونیت هیترها به دو نوع سقفی آویزی و زمینی تقسیم‌بندی می‌شوند. در نوع سقفی آویزی، جریان هوا می‌تواند افقی یا عمودی باشد و در نوع زمینی دستگاه بر روی زمین نصب شده و هوا به وسیله هدایت کننده‌هایی به سمت و محل موردنظر هدایت می‌شود.



شکل۳-۱۴: یونیت هیتر سقفی آویزی با جریان افقی هوا و نوع سقفی عمودی زن

کاربرد یونیت‌هیترها

یونیت‌هیترها برای گرم کردن فضاهای بزرگ (نظیر سالن‌های ورزشی و سالن‌های کارخانه‌ها و ...) به دلایل ذکر شده در زیر، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۱- داشتن توان حرارتی زیاد
۲- جاگیری کمتر مخصوصاً در مدل‌های دیواری و سقفی
۳- توزیع بهتر هوای گرم
۴- سرعت زیاد در گرم کردن فضا
۵- قیمت نسبتاً ارزان

مزایای یونیت هیترها

۱- به دلیل انتقال حرارت اجباری (وجود دمنده هوا) راندمان بالایی دارند.
۲- نسبت به بقیه سیستم‌های گرمایش جابجایی، فضا را به صورت یکنواخت‌تری گرم می‌کنند.
۳- سرعت گرم‌کردن نسبتاً بالایی دارند (پاسخ‌دهی آنها سریع است) و احتیاجی به پیش راه‌اندازی ندارند.

۴- محل قرارگیری آنها می‌تواند سقف یا محل‌های مرده (غیر قابل استفاده) باشد.
۵- قیمت آنها به نسبت ارزان است.
۶- قابلیت کنترل دستی توزیع هوای گرم را دارد.
۷- نیاز به کانال‌کشی ندارند.

معایب یونیت‌هیترها

۱- صدای نسبتاً زیادی دارند (حدود 80db و بالاتر) مخصوصاً مدل‌های دور بالا که مناسب استفاده در انبارهای بدون پرسنل می‌باشند.
۲- طرح لوله‌کشی آن حتماً باید معکوس[1] باشد.
۳- قبل از نصب احتیاج به چیدمان تجهیزات می‌باشد تا محل دقیق آن انتخاب گردد.
۴- به دلیل بالانس بودن پروانه‌ها، نسبت به تراز بودن موقع نصب خیلی حساس می‌باشند.
۵- به دلیل دمای بالای هوای خروجی از آنها در ارتفاع پائین نصب نمی‌گردند.
۶- جهت حفظ راندمان باید سالی یکبار پره‌های فن آن با واترجت شستشو داده شوند.
۷- احتیاج به رسوب زدائی دارند.

انتخاب یونیت‌هیتر

کارخانه‌های سازنده، یونیت‌هیترهای تولیدی خود را در شرایط استاندارد و یا در شرایط دیگری که مشخص می‌کنند، در جدولی برای مدل‌های مختلف ارائه می‌نمایند که با استفاده از جدول و توجه به فاکتورهای مهم ذکر شده در زیر، می‌توان تعداد و مدل یونیت‌هیتر مناسب برای محل گرم شونده را تعیین نمود:

۱- حامل انرژی حرارتی (که معمولاً آب و یا بخار آب است)
۲- نوع یونیت‌هیتر مناسب
۳- محل مناسب قرار گرفتن یونیت‌هیتر از نظر توزیع بهتر هوا و حرارت

سطح مجاز صدا: (شاید پرداختن به مسئله صدا مربوط به بحث این کتاب نباشد. بنابراین فقط به طور خلاصه می‌توان بیان کرد که صدای حاصل از کارکردن پروانه یونیت‌هیتر نباید به صورتی باشد که برای افراد ایجاد ناراحتی نماید. اگرچه احتمالاً سر و صدای حاصل از کارکردن ماشین‌آلات در کارخانه‌ها و سر و صدای حاصل از افراد و وسایل ورزشی در سالن‌های ورزشی به‌تنهایی بیش از سروصدای حاصل از کارکردن پروانه‌های یونیت‌هیترها باشد)

۴- ظرفیت حرارتی هر دستگاه یونیت‌هیتر.
۵- نیاز به انجام تصفیه مکانیکی هوا و یا عدم نیاز به آن.

مراحل انتخاب یونیت‌هیتر آب‌گرم به صورت زیر است:

گام اول: پیدا کردن ضریب تصحیح[2] ظرفیت حرارتی: سازندگان، مشخصات یونیت هیترهای تولیدی خود را در شرایط استاندارد ارائه می‌دهند و درصورتیکه در شرایط دیگری به‌کار گرفته شوند باید ضریب تصحیح مربوط به آن شرایط را مشخص کنیم که از جدول بدست می‌آید.

1- Reverse
2- Correction Factor

گام دوم: بدست آوردن ظرفیت حرارتی معادل: مقدار ظرفیت حرارتی دستگاه در شرایط استاندارد (ظرفیت حرارتی اسمی یونیت‌هیتر) را به‌دست می‌آوریم که برای این کار از رابطه (۳-۱) استفاده می‌کنیم:

$$H_{nominal} = \frac{H}{C_H} \qquad (۱-۳)$$

که در این رابطه H ظرفیت حرارتی یونیت‌هیتر که در شرایط واقعی باید تامین کند، C_H ضریب تصحیح ظرفیت حرارتی است که از جدول کارخانه سازنده یونیت‌هیتر به‌دست می‌آید و $H_{nominal}$ ظرفیت حرارتی معادل می‌باشد که براساس آن باید یونیت‌هیتر انتخاب شود.

گام سوم: انتخاب یونیت‌هیتر: براساس ظرفیت حرارتی معادل بدست آمده در گام قبلی از جدول استفاده می‌کنیم و یونیت‌هیتر مورد نظر را انتخاب می‌کنیم. توجه شود که با انتخاب یونیت‌هیتر بقیه مشخصات اسمی آن از جمله نرخ جریان هوای اسمی، نرخ جریان آب‌گرم اسمی، ظرفیت حرارتی اسمی، افت فشار آب، توان و وزن دستگاه مشخص می‌شوند. که برای تعیین کردن نرخ جریان هوا واقعی، دمای هوای خروجی از یونیت‌هیتر، نرخ جریان آب‌گرم واقعی و افت فشار آب در داخل کویل به ترتیب باید به گام چهارم، پنجم، ششم و هفتم مراجعه کنید.

گام چهارم: تعیین نرخ جریان هوا: با انتخاب یونیت‌هیتر (گام قبلی) نرخ جریان هوا در شرایط استاندارد (نرخ جریان هوای اسمی) نیز مشخص می‌شود و برای بدست آوردن نرخ جریان هوا در شرایط کارکرد(نرخ جریان هوای واقعی) از رابطه (۳-۲) استفاده می‌کنیم:

$$CFM = (CFM_{nominal}) \times (C_{CFM}) \qquad (۲-۳)$$

که در این رابطه نرخ جریان هوای اسمی یونیت‌هیتر، ضریب تصحیح نرخ جریان هوا است که براساس شرایط کارکرد از جدول به‌دست می‌آید و نیز نرخ جریان هوای واقعی یونیت‌هیتر در شرایط کارکرد است.

گام پنجم: تعیین دمای هوای خروجی از یونیت‌هیتر: برای تعیین دمای هوای خروجی از یونیت‌هیتر از رابطه (۳-۳) استفاده می‌کنیم.

$$T_{Out} = T_{in} + \frac{H}{1.085 \times CFM} \qquad (۳-۳)$$

که در این رابطه و به ترتیب دمای هوای خروجی و ورودی به یونیت‌هیتر، ظرفیتی حرارتی واقعی یونیت‌هیتر بر حسب و نیز نرخ جریان هوای واقعی یونیت‌هیتر می‌باشد

گام ششم: تعیین نرخ جریان آب‌گرم: برای تعیین نرخ جریان آب‌گرم واقعی ورودی به دستگاه از رابطه (۳-۴) استفاده می‌کنیم:

$$Q = \frac{H}{500 \times \Delta T} \qquad (۴-۳)$$

که در این رابطه نرخ جریان آب‌گرم بر حسب gpm، ظرفیت حرارتی دستگاه تصحیح شده بر حسب و نیز اختلاف دمای آب‌گرم ورودی به یونیت‌هیتر و خروجی از آن می‌باشد که معمولاً ۲۰ درجه فارنهایت در نظر گرفته می‌شود.

گام هفتم: تعیین افت فشار: برای تعیین افت فشار آب هنگام عبور از یونیت‌هیتر از رابطه (۳-۵) استفاده می‌کنیم.

$$\Delta P = \Delta P_{nominal} \times C_{\Delta P} \qquad (۵-۳)$$

که در این رابطه $\Delta P_{nominal}$ افت فشار اسمی یونیت‌هیتر و $C_{\Delta P}$ ضریب تصحیح افت فشار می‌باشد و از جداول مربوطه بدست می‌آیند.

نکته: برای دستیابی به دمای هوای یکنواخت مناسب در تمام فضا، توصیه می‌شود که کل هوای فضا تقریباً ۴ یا ۵ بار در ساعت از طریق یونیت‌هیترها به‌گردش در بیاید. لذا هنگام انتخاب یونیت‌هیتر بهتر است که نرخ جریان هوای خروجی از یونیت‌هیتر به اندازه‌ای باشد که این شرط ارضا شود.

به منظور توزیع بهتر هوا توصیه می‌شود بجای استفاده از یک یونیت‌هیتر بزرگ از چند یونیت‌هیتر کوچک استفاده شود.پیشنهاد می‌شود که یونیت‌هیتر طوری انتخاب شود که دمای هوای خروجی از آن بین ۳۵ تا۵۰ درجه سانتی‌گراد باشد. توجه شود که دمای هوای خروجی بالاتر از ۶۰°C غیر مجاز است.

تعیین دمای هوای ورودی به یونیت‌هیتر: دمای هوای ورودی به یونیت‌هیتر که در ارتفاع بالا نصب می‌شود معمولاً بالاتر از دمای طرح داخل است. دمای هوا در ارتفاعی که یونیت‌هیتر نصب شده است به صورت زیر تعیین می‌شود:

برای دمای هوای خروجی از یونیت‌هیتر تا حدود ۵۰°C، به ازاء هر متر بالاتر از سطح کاری تقریباً حدود°C ۱/۴ دمای هوا بالاتر می‌رود. منظور از سطح کاری ارتفاعی است که می‌خواهیم دمای هوا در آن ارتفاع کنترل شود.

تمرین:

درصورتیکه سطح کاری ۱/۷ متر، دمای هوای طرح داخل ۲۰ درجه سانتی‌گراد، و یونیت‌هیتر در ارتفاع ۴/۵ متری از سطح زمین نصب شده باشد. مطلوب است دمای هوای ورودی به یونیت‌هیتر.

حل:

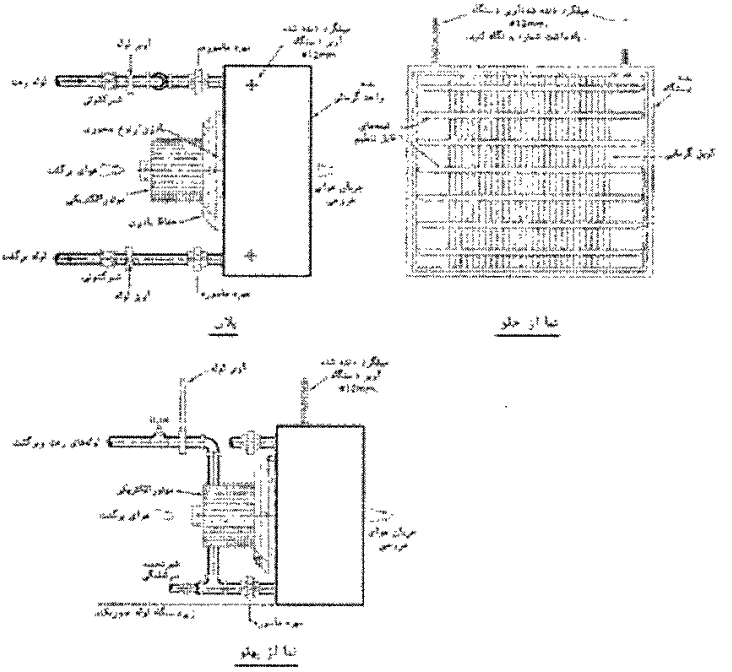
از فاصله ۱/۷ متر (ارتفاع سطح کاری) تا ارتفاع ۴/۵ متری(ارتفاع نصب یونیت‌هیتر) به ازای هر متر دمای هوا حدود ۱/۴ درجه سانتی‌گراد بالاتر می‌رود لذا دمای هوای ورودی به یونیت‌هیتر(دما در ارتفاع ۴/۵ متر) به صورت زیر بدست می‌آید:

$$T_{inlet} = T_{working\,level} + 1.4 \times (h_{unit\,heater} - h_{working\,level}) = 20 + 1.4 \times (4.5 - 1.7) = 23.9^{\circ}C$$

نکات اجرایی یونیت‌هیترها

هنگام نصب یونیت‌هیترهای آب‌گرم باید به نکات زیر توجه شود:

- ✓ برای سرویس و تعمیرات از شیر کشویی در مسیر رفت و برگشت آب‌گرم استفاده شود.
- ✓ در مسیر ورود آب‌گرم به یونیت‌هیتر از شیر بالانسینگ استفاده شود.
- ✓ لوله‌های رفت و برگشت باید جداگانه آویز داشته باشند به‌طوریکه وزن لوله‌ها به یونیت‌هیتر وارد نشود.
- ✓ در مسیر برگشت آب الزاماً از شیر هواگیری خودکار یا دستی استفاده شود.
- ✓ برای تخلیه آب باید شیر سرشلنگی پیش‌بینی شود.
- ✓ فاصله دستگاه از دیوار پشت حداقل باید ۴۰ سانتی‌متر باشد.
- ✓ دستگاه باید روی پایه‌های مناسب و محکمی قرار گیرد و تراز باشد(در غیر اینصورت بالانس فن از بین می‌رود و بعد از مدتی سر و صدای آن زیاد می‌شود). از بکاربردن لرزه‌گیر خودداری شود.



شکل۳-۱۵: جزئیات نصب یونیت‌هیتر با آب‌گرم- نوع افقی

فن‌کویل

فن‌کویل دستگاه پخش‌کننده حرارتی است که از دو قسمت اصلی فن و کویل تشکیل شده و برای گرمایش و سرمایش فضا مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این دستگاه انتقال حرارت به روش جابجایی اجباری صورت می‌گیرد. اجزای فن‌کویل عبارتند از:

فن: این قطعه وظیفه مکش هوای محل گرم شده و هوای تازه(در صورت نیاز)، عبور آن از روی کویل و به جریان انداختن هوا (توزیع گرما) در محل را بر عهده دارد. فن فن‌کویل‌ها معمولاً از نوع سانتریفوژ (گریز از مرکز) هستند و هر فن‌کویل بسته به ظرفیت آن دارای یک و یا چند عدد فن است که ظرفیت هوادهی هر فن‌کویل زمینی معمولاً بین ۲۰۰ تا ۱۲۰۰ فوت مکعب در دقیقه می‌باشد.

الکتروموتور: وظیفه این قطعه دوران فن است.

کویل: در زمستان آب‌گرم دیگ و در تابستان آب سرد چیلر در د اخل آن جریان می‌یابد و وظیفه انتقال حرارت بین آب و هوا را به عهده دارد. بر روی لوله‌های کویل به‌منظور بیشتر شدن سطح تبادل حرارت فین‌هایی نصب می‌کنند و معمولاً کویل از لوله‌های مسی با فین‌ها آلومینیومی ساخته می‌شود. به کویل دو لوله متصل می‌شود یکی مخصوص آب‌گرم دیگ (یا مبرد چیلر در تابستان) و دیگری لوله مخصوص برگشت آب به موتورخانه می‌باشد. بر حسب نرخ انتقال حرارت کویل‌ها، دو نوع کویل

سرمایش وجود دارند:

۱) کویل سرمایش استاندارد: در این کویل‌ها دمای آب مبرد خروجی از کویل حدود ۶ الی ۱۵ درجه فارنهایت افزایش می‌یابد.

۲) کویل سرمایش بالا: این کویل‌ها نرخ انتقال حرارت بیشتری نسبت به کویل‌های استاندارد دارند و دمای آب مبرد خروجی از آنها حدود ۱۲ الی ۲۰ درجه فارنهایت افزایش می‌یابد. لذا در بار برودتی یکسان، نرخ جریان آب کمتری از این کویل‌ها عبور می‌کند و این باعث کاهش هزینه‌های پمپاژ و کاهش قطر لوله‌های سیستم لوله‌کشی می‌شود.

در مواقعی که نیاز به گرمایش سریع محیط است و یا در فصل تابستان که آب سرد چیلر در داخل کویل‌ها جریان دارد ولی به گرمایش نیاز است می‌توان از کویل‌های الکتریکی در داخل فن‌کویل استفاده کرد.

فیلتر: فیلتر فن‌کویل معمولاً از نوع فیلتر خشک آلومنیمی قابل شست‌وشو است و کار آن تصفیه فیزیکی هوا است(گرفتن ذرات گرد و غبار موجود در هوا). محل صحیح نصب فیلتر در داخل فن‌کویل در محل ورود هوا به فن است. فن‌کویل‌هایی هم وجود دارد که فیلتر آنها بعد از فن در پشت کویل قرار داده شده، که به نظر مؤلف صحیح نیست چون قبل از آن که ذرات و مواد موجود در هوا به وسیله فیلتر گرفته شوند، در داخل پره‌های پروانه قرار می‌گیرند و در نتیجه ظرفیت هوادهی پروانه و قدرت حرارتی فن کویل را کم می‌کند، فن را از حالت بالانس خارج می‌کند، باعث ایجاد صدا و لرزش می‌شود.

شیر قطع و وصل: وظیفه این قطعه قطع و وصل جریان آب به داخل کویل در مواقع ضروری است.

شیر هواگیری: وظیفه این قطعه هواگیری می‌باشد.

کلید کنترل: کلید کنترل فن‌کویل از نوع سلکتوری و معمولاً چهار حالته (خاموش، دور پایین، دور متوسط و دور تند) است که به وسیله آن می‌توان دور موتور فن‌کویل و در نتیجه ظرفیت حرارتی را کنترل کرد. معمولاً ظرفیت حرارتی فن‌کویل‌ها در دور پایین و متوسط به ترتیب ۰/۸ و ۰/۹ ظرفیت آنها در دور تند و هوادهی آنها نیز در دور پایین و متوسط به ترتیب ۰/۷ و ۰/۸ هوادهی آنها در دور تند است.

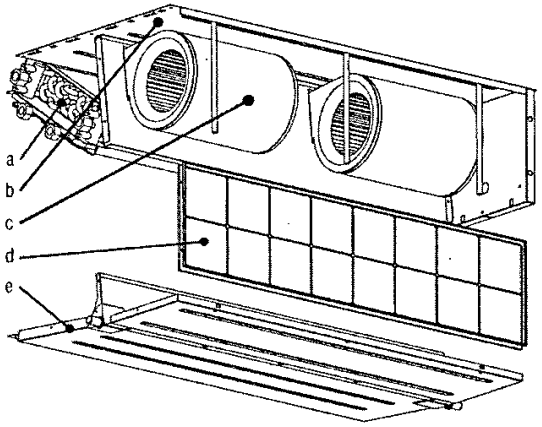
تشتک: تشتک و یا سینی، قطعه‌ای است که در زیر کویل نصب می‌گردد و آب‌های خارج شده از کویل در زمان هواگیری و همچنین بخار آب تقطیر شده موجود در هوا بر روی کویل سرد (در تابستان) در آن جمع‌آوری می‌شود. و از آنجا از طریق لوله تخلیه در محل مناسب تخلیه می‌شود.

لوله تخلیه[1]: چنانچه از فن‌کویل به عنوان وسیله سرمایش استفاده شود(تابستان) امکان تقطیر بخار آب موجود در هوا بر روی کویل‌ها است که بعد از جمع آوری آب حاصل از تقطیر در تشتک از طریق لوله تخلیه خارج می‌گردد. قطر این لوله وابسته به دبی آب مبرد عبوری از کویل است ولی معمولاً از لوله $\frac{3}{4}$" استفاده می‌شود و جنس آن از فولاد با پوشش گالوانیزه می‌باشد.

کابینت: کابینت فن‌کویل محفظه‌ای است که قطعات فن‌کویل در داخل آن نصب می‌شوند. به‌عبارت دیگر پوششی است بر روی قطعات فن‌کویل و باید دارای شکل ظاهری و رنگ زیبایی باشد.

در شکل(۳-۱۶) قسمت‌های مختلف یک فن‌کویل نشان داده شده است.

1- Drain Pipe



شکل۳-۱۶: اجزای مختلف فن‌کویل

یکی از مهمترین مزایای فن‌کویل امکان تنظیم و کنترل دمای اتاق می‌باشد. عمل کنترل توسط ترموستات صورت می‌گیرد این وسیله با روشن و خاموش کردن الکتروموتور فن در حالتی که آب پیوسته از کویل عبور می‌کند دمای اتاق را کنترل می‌کند. توجه شود که جهت کنترل بهتر دمای اتاق باید ترموستات در مکان مناسبی نصب شود. بهترین محل برای نصب ترموستات دیوار مقابل فن‌کویل می‌باشد. توجه شود که در مکان‌های زیر ترموستات نباید نصب شود:

۱- جلوی نور خورشید
۲- زیر دریچه هوای تازه
۳- پشت درب
۴- روی دیوار خارجی

انواع فن‌کویل

فن‌کویل‌ها را به روش‌های مختلفی تقسیم‌بندی می‌کنند که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

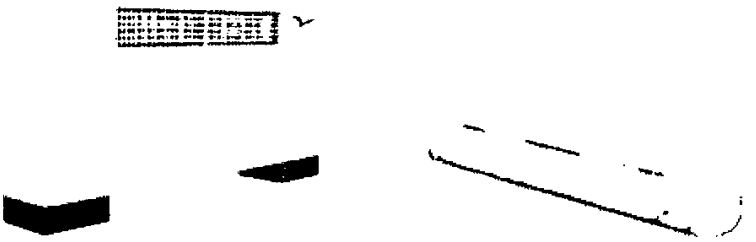
از نظر مقدار هوادهی

در این روش فن‌کویل‌ها را براساس میزان هوادهی بر حسب فوت مکعب بر دقیقه تقسیم‌بندی می‌کنند. میزان هوادهی فن‌کویل‌های موجود در بازار بر حسب CFM عبارتند از ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰، ۱۲۰۰

از نظر شکل ظاهری و محل نصب

فن‌کویل‌ها از نظر شکل ظاهری و محل نصب به صورت زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

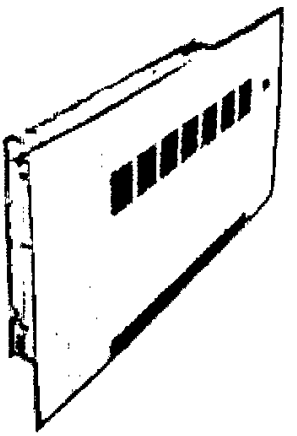
۱- فن‌کویل زمینی روکار که خود به دو نوع خروجی هوا از بالا(بالا زن) و خروجی هوا از جلو (روبه‌رو زن) تقسیم می‌شوند. در شکل (۳-۱۷) این دو نوع فن‌کویل نشان داده شده است.



الف ب

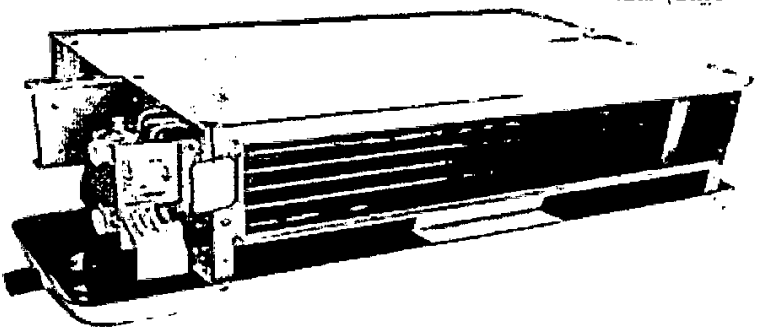
شکل۳-۱۷: الف) فن‌کویل زمینی بالازن ب) فن‌کویل زمینی روبرو زن

۲- فن‌کویل زمینی توکار که داخل فرورفتگی دیوار نصب می‌شوند و فقط صفحه جلوی آن دیده می‌شود.



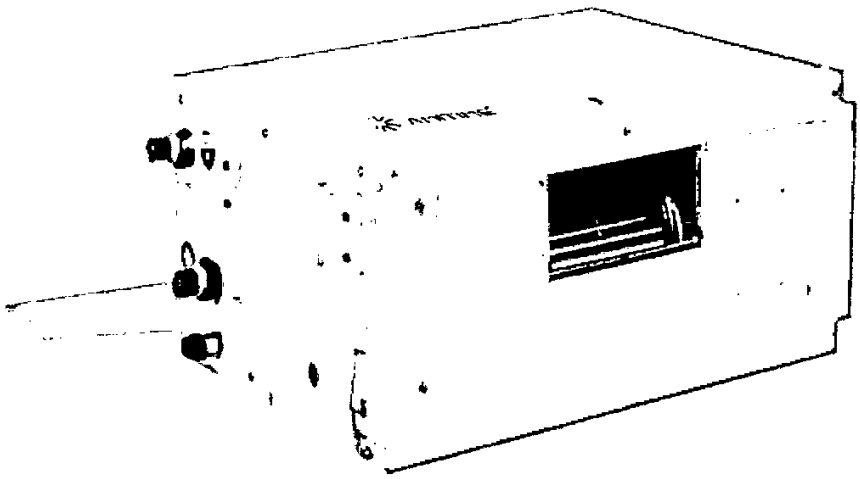
شکل۳-۱۸: فن‌کویل زمینی توکار

۳- فن‌کویل سقفی که این مدل نیز دارای یک نوع روکار (با کابینت) و یک نوع توکار (بدون کابینت) است.



شکل۳-۱۹: فن‌کویل سقفی توکار

فن کویل کانالی[1] که این مدل توان هوادهی و حرارتی بالایی دارد و در جلوی دهانه خروجی هوا یک سیستم کانال‌کشی هوای رفت تعبیه شده که هوا را به قسمت‌های مختلف هدایت می‌کند. لازم به ذکر است که پیش‌بینی یک مسیر برگشت هوا به قسمت مکش فن‌کویل الزامی است. این فن‌کویل چون در بیرون فضای گرمایش(سرمایش) نصب می‌شود و هوای مطبوع از طریق کانال به آن منتقل می‌شود لذا سروصدای فن به داخل اتاق منتقل نمی‌شود. در این نوع فن‌کویل‌ها با استفاده از شیرهای دستی می‌توان مقدار هوای تازه ورودی به فضا را کنترل کرد. در شکل (۳-۲۰) یک نمونه فن‌کویل کانالی مدل سقفی آمده است.



شکل۳-۲۰: فن‌کویل کانالی - مدل سقفی

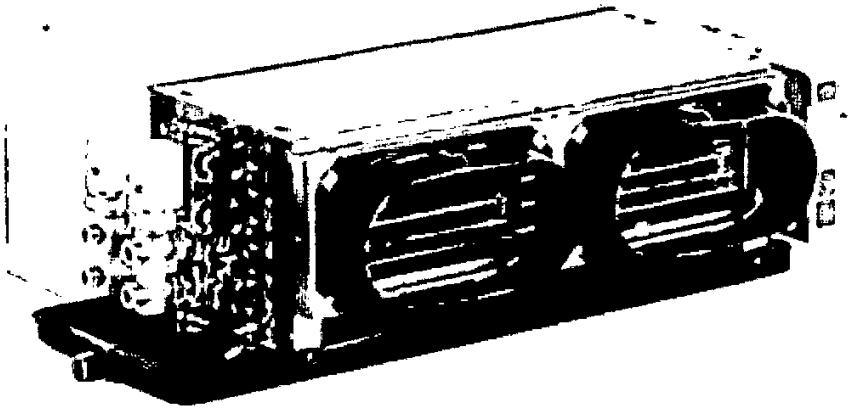
از نظر تعداد لوله‌ها

فن‌کویل‌ها از نظر تعداد لوله‌های ورودی و خروجی از آن، به دو دسته زیر تقسیم‌بندی می‌شوند (توجه شود که در این نوع دسته‌بندی لوله تخلیه را در نظر نمی‌گیرند):

دو لوله‌ای: این نوع فن‌کویل‌ها دارای یک کویل بوده و کویل آب‌گرم و مبرد آن یکسان است. در یک روز مشخص فقط به عنوان وسیله سرمایش یا گرمایش می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند یعنی در یک فصل مشخص یا آب سرد چیلر در داخل آن جریان دارد و یا آب‌گرم دیگ. در این فن‌کویل‌ها برای اینکه در فصل تابستان چند روز برای گرمایش مورد استفاده قرار گیرند باید از کویل‌های الکتریکی در داخل آنها استفاده شود و هنگام استفاده باید جریان آب مبرد به داخل کویل قطع شود.

چهار لوله‌ای: این فن‌کویل‌ها دارای دو کویل مجزا بوده (یک کویل برای آب‌گرم دیگ و دیگری برای آب سرد چیلر) که به هر کدام از آنها دو لوله متصل است. از مهم‌ترین مزیت این فن‌کویل‌ها این است که در یک روز مشخص از آنها می‌توان هم به عنوان وسیله سرمایش و هم به عنوان وسیله گرمایش استفاده کرد. در ضمن این فن‌کویل‌ها قابلیت گرفتن رطوبت هوای محیط را نیز دارند.

1- Ducted Fancoil



شکل۳-۲۱: فن‌کویل چهار لوله‌ای

از نظر موقعیت لوله‌های کویل

فن‌کویل‌ها از نظر موقعیت قرارگیری لوله‌های کویل به دو دسته زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱- فن‌کویل دست راست: اگر شخص ناظر رو به فن‌کویل ایستاده باشد و لوله‌های کویل سمت راست شخص باشد آن را فن‌کویل دست راست می‌گویند.

۲- فن‌کویل دست چپ: اگر شخص ناظر رو به فن‌کویل ایستاده باشد و لوله‌های کویل سمت چپ شخص باشد آن را فن‌کویل دست چپ می‌گویند.

انتخاب فن‌کویل

فن کویل انتخابی باید بار گرمایشی و سرمایشی فضا را جبران کنند و از آنجاییکه اختلاف دمای بین آب داخل کویل و هوای محیط در گرمایش بیشتر از سرمایش است لذا ظرفیت گرمایشی فن کویل‌ها به مراتب بیش از ظرفیت سرمایشی آنها بوده (ظرفیت حرارتی یا انتقال حرارت یک دستگاه رابطه مستقیمی با اختلاف دما دارد). اختلاف دمای رفت و برگشت آب داخل کویل برای گرمایش حدود ۲۰ درجه فارنهایت و برای سرمایش حدود ۱۰ درجه فارنهایت می‌باشد. لذا اغلب با مراجعه به کاتالوگ سازنده، فن کویل براساس بار برودتی انتخاب شده و برای بار گرمایی بررسی می‌شود که بتواند بار گرمایی فضا را نیز جبران کند.

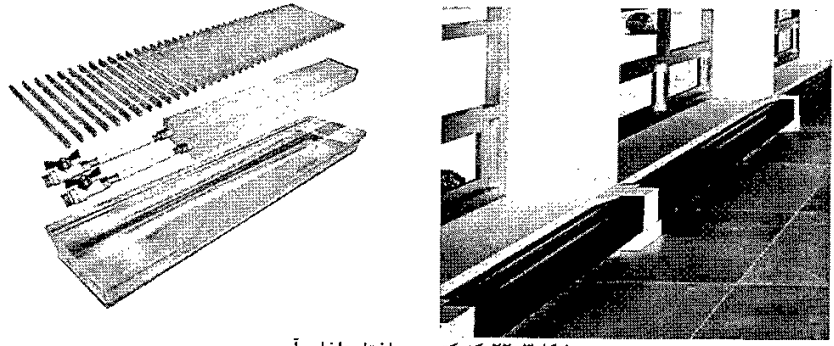
نکات اجرایی نصب فن‌کویل‌ها

هنگام نصب فن‌کویل‌ها باید به موارد زیر توجه شود:

- ✓ نصب فن‌کویل باید طبق توصیه کارخانه سازنده انجام گیرد و در فن‌کویل زمینی دستگاه باید حداقل در دو نقطه با پیچ به دیوار پشت متصل شود.
- ✓ ترموستات باید روی دیوار اتاق و در ارتفاع ۱۲۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متری از کف اتاق نصب شود.
- ✓ توصیه می‌شود یکی از شیرهای قطع و وصل روی لوله رفت یا برگشت، به منظور تنظیم جریان زیاد باشد.

کنوکتور

کنوکتور[1] از یک یا چند لوله پره‌دار که در داخل محفظه‌ای قرار گرفته‌اند، تشکیل شده است. این دستگاه در اندازه‌های مختلفی از نظر طول، ارتفاع و پهنا ساخته می‌شود. لوله‌های پره‌دار ممکن است از نوع لوله‌های آهنی و یا غیرآهنی مانند لوله‌های مسی باشند. هوا از قسمت پایین وارد و پس از گرم شدن به روش جابه‌جایی از دریچه بالا خارج شده و وارد فضای موردنظر می‌شود. در محل خروج هوا از کنوکتور دمپری قرار گرفته که به وسیله آن می‌توان مقدار جریان هوا و در نتیجه قدرت حرارتی کنوکتور را تنظیم کرد. کاربرد کنوکتور در جایی که از آب داغ و یا بخار به عنوان حامل انرژی حرارتی استفاده می‌شود مناسب است، زیرا به علت داشتن پوشش بر روی لوله‌ها امکان تماس بدن با سطوح داغ لوله‌ها و پره‌ها وجود ندارد. در شکل (۳-۲۲) یک نوع کنوکتور نشان داده شده است.



شکل۳-۲۲: کنوکتور و ساختار داخلی آن

انواع کنوکتور:

به طور کلی کنوکتورها در دو نوع روکار و توکار ساخته می‌شوند. در نوع روکار لوله‌ها توسط کارخانه سازنده در داخل کابینتی نصب می‌گردند ولی نوع توکار آن بدون کابینت است به عبارتی فقط دارای لوله‌های پره‌دار است که در محل فرورفتگی دیوار نصب می‌شود و با پیش‌بینی دریچه‌ای در پایین و بالای آن برای ورود و خروج هوا، سایر قسمت‌های جلوی آن با مصالح ساختمانی (نظیر رابیتس و گچ و خاک) پوشیده می‌شود و مانند سایر قسمت‌ها، نازک‌کاری و رنگ می‌شود؛ در این صورت باید پیش‌بینی لازم برای پیاده کردن لوله‌ها جهت انجام تعمیرات به‌عمل آید و یا این که در جلوی آن، صفحات برداشتنی فلزی و یا چوبی نصب گردد.

نکات اجرایی نصب کنوکتورها

نکاتی که هنگام نصب کنوکتورها باید به آنها توجه شود عبارتند از:

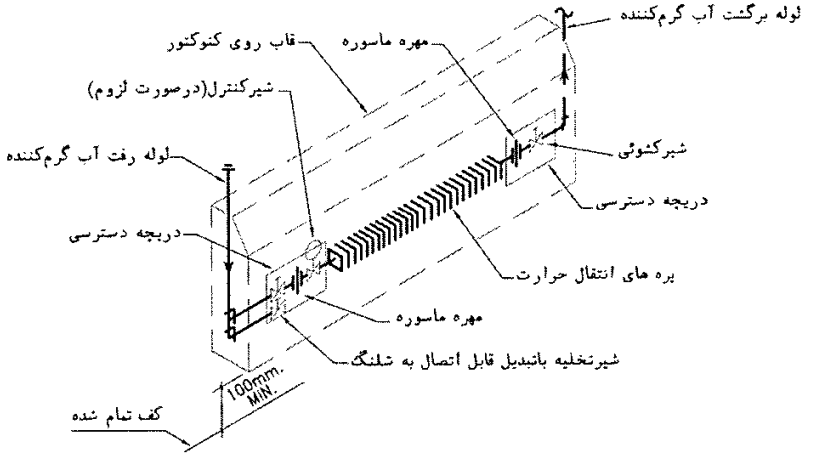
- ✓ کنترل دبی آب‌گرم عبوری از لوله‌های پره‌دار می‌تواند توسط شیر کنترل خودکار با فرمان از ترموستات داخل فضا و یا توسط شیر ترموستاتیک انجام گیرد.

اگر لوله‌های اصلی در زیر سقف قرار دارند و تغذیه کنوکتور از بالا انجام می‌گیرد، در این حالت نصب شیر هواگیری روی کنوکتور الزامی نیست و کافی است در بالاترین نقاط لوله‌کشی اصلی در زیر سقف

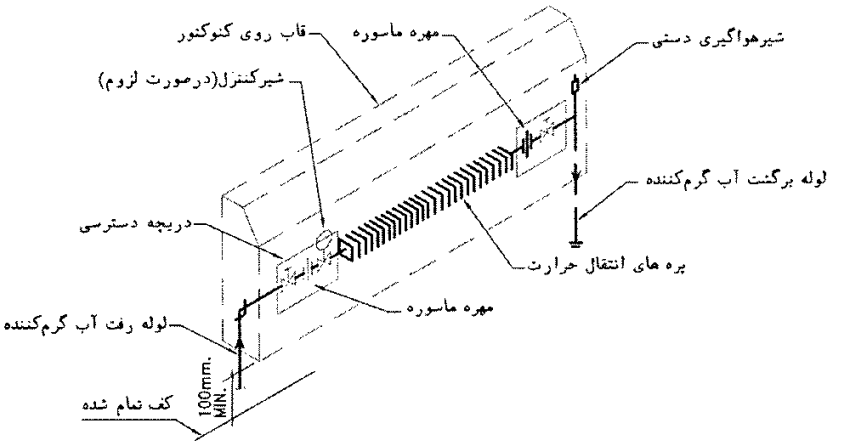
1- Convector

شیر هواگیری پیش‌بینی شود.

- ✓ در حالت اتصال لوله‌های تغذیه‌کننده کنوکتور از پایین باید روی لوله برگشت کنوکتور، شیر هواگیری دستی پیش‌بینی شود. این شیر باید بدون باز کردن قاب روی کنوکتور قابل دسترسی باشد.
- ✓ درصورت نصب شیر ترموستاتیک روی لوله رفت یا برگشت، باید شیر در تراز پایین‌تر از پره‌های گرم‌کننده و طوری نصب شود که در معرض جریان هوای ورودی به کنوکتور قرار گیرد.



دیاگرام لوله‌کشی کنوکتور درحالت تغذیه ازبالا (DOWN-FEED CONNECTION)



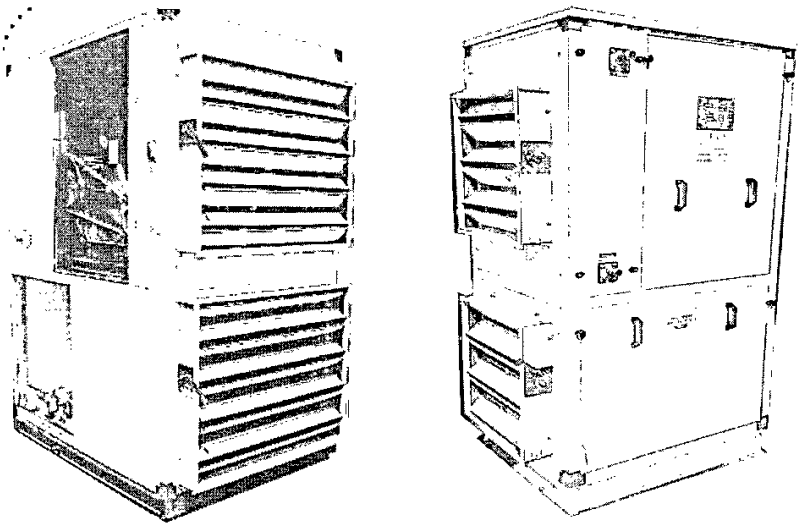
دیاگرام لوله‌کشی کنوکتور درحالت تغذیه از پائین (UP-FEED CONNECTION)

شکل۳-۲۳: جزئیات لوله‌کشی کنوکتور

سیستم زنت

این سیستم از دو قسمت گرمایش و سرمایش تواماً با تنظیم رطوبت تشکیل شده است زنت مخفف زمستانی / نیمه / تابستانی می‌باشد که در ایران و متناسب با شرایط آب و هوایی ایران ساخته شده است. در تابستان هوای گرم محیط پس از عبور از روی سطوح گسترده خیس (پوشال و ...) خنک می‌شود (سرمایش تبخیری) و سپس هوای خنک و تازه بین مصرف کنندگان توزیع می‌شود. در زمستان هوای برگشتی از محیط با مقدار معینی از هوای تازه بیرون ترکیب و پس از عبور از کویل گرمایشی آب‌گرم(کویل دو ردیفه یا چهار ردیفه)، دمای آن بالا رفته و بین مصرف کنندگان توزیع می‌شود. در واقع زنت ساده‌ترین دستگاه تهویه مطبوع متناسب با شرایط اقلیمی کشور می‌باشد. انتقال حرارت در این دستگاه به روش جابجایی اجباری و توسط فن دستگاه صورت می‌گیرد. این سیستم در مکانی به نام زنت خانه یا بالکون قرار می‌گیرد و از آنجا با کانال کشی، هوای سرد یا گرم به فضاهای مختلف هدایت می‌شود. این سیستم مخصوص آب و هوای زمستانی نیمه تابستانی است. در جاهایی که تابستان گرم و خشک دارد (رطوبت هوا کم است) یعنی سیستم سرمایش تبخیری مزیت دارد، استفاده از سیستم زنت پیشنهاد می‌گردد. لوله‌های ارتباطی این دستگاه با سیستم تاسیسات ساختمان عبارتند از: لوله‌های رفت و برگشت آب‌گرم(برای قسمت گرمایش)، یک انشعاب آب سرد مصرفی از سیستم آب مصرفی(برای قسمت سرمایش) و همچنین یک کانال توزیع هوا.

اجزاء دستگاه زنت عبارتند از: فن، فیلتر(اختیاری)، کویل‌های آب‌گرم و یا کویل‌های الکتریکی، دریچه‌های قابل تنظیم، سیستم پوشال‌ها و آبفشان. در شکل (۳-۲۴) دو نمونه دستگاه زنت نشان داده شده‌اند.



شکل۳-۲۴: دستگاه زنت

فرق قسمت تابستانی و زمستانی دستگاه به گونه‌ای است که در زمستان دریچه هوا بگونه‌ای تنظیم می‌گردد که تقریبا ۹۰ درصد هوا از داخل کشیده شود و حدود ۱۰ درصد هوای تازه از بیرون وارد دستگاه می‌شود در حالیکه در حالت تابستانی هوا به طور کامل از بیرون وارد دستگاه می‌شود (کل هوایی که وارد فضا می‌شود هوای تازه است)

معایب سیستم زنت عبارتند از:

- برای نصب آن بایستی حتماً شاسی ساخته شود و توسط جرثقیل بالا رود.
- نیاز به نگهداری توسط فرد آموزش دیده دارد.
- به رسوبات آب حساس است.

مینی زنت

دستگاه مینی‌زنت در حقیقت مدل فشرده دستگاه زنت است با این ویژگی که حجم آن کمتر بوده و فضای کمتری از ساختمان را اشغال می‌کند. هدف از ساخت این دستگاه استفاده از یک دستگاه برای یک واحد مستقل است نه برای یک آپارتمان چند واحدی که چون حجم دستگاه کوچک است براحتی در ایوان هر واحد جا می‌گیرد این دستگاه عمل گرمایش و سرمایش توام با تنظیم رطوبت یک واحد را به‌راحتی انجام می‌دهد.

مراحل طراحی شبکه لوله‌کشی حرارت مرکزی

بعد از محاسبه بار حرارتی، انتخاب تجهیزات موتورخانه و تعیین نوع سیستم حرارت مرکزی و دستگاه‌های پخش‌کننده حرارت، شبکه لوله‌کشی باید طراحی شود. مراحل طراحی شبکه لوله‌کشی بصورت زیر است:

۱- مشخص کردن محل و مشخصات دستگاه‌های پخش کننده حرارت در فضاهای مختلف براساس بار حرارتی آنها.

۲- انتخاب نوع شبکه لوله‌کشی: انتخاب کردن یکی از شبکه‌های لوله‌کشی با توجه به موقعیت ساختمان، زیربنای آن و .... (شبکه یک لوله‌ای یا دو لوله‌ای با برگشت مستقیم یا برگشت معکوس).

۳- مشخص نمودن مسیر لوله‌کشی(رفت و برگشت آب) روی پلان معماری.

۴- تعیین قطر مناسب لوله در قسمت‌های مختلف شبکه لوله‌کشی.

۵- تعیین شیب لازم: در سیستم‌های حرارت مرکزی با آب‌گرم، شیب لوله‌ها ۲ میلیمتر در هر متر طول لوله بطرف موتورخانه پیشنهاد می‌شود.

تهیه نقشه ایزومتریک:در نهایت نقشه ایزومتریک شبکه لوله‌کشی برای اجرای آن تهیه می‌شود.

لوله‌کشی آب سیستم‌های گرمایش و سرمایش

برای تامین بار حرارتی (یا برودتی) ساختمان باید آب‌گرم (یا سرد) تولید شده در دیگ (چیلر) به سمت دستگاه‌های پخش‌کننده حرارت جریان‌یابد و پس از انتقال حرارت، دوباره به سمت دیگ(چیلر) بازگردانده شود برای این منظور از لوله‌کشی برای انتقال آب استفاده می‌شود.

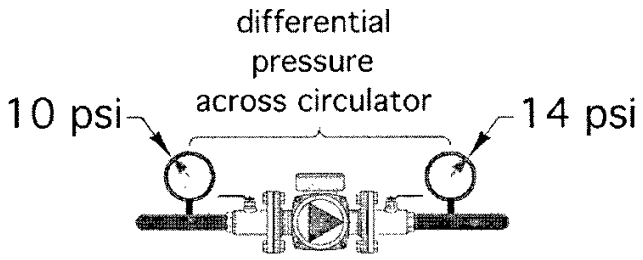
فصل ۴
شبکه توزیع آب‌گرم

همانطور که گفتیم هدف از تولید آب‌گرم در دیگ‌خانه انرژی دادن به آب و انتقال این انرژی توسط آب‌گرم به پخش کننده‌های حرارت است. اجزاء اصلی این سیستم گردشی دیگ آب‌گرم، پمپ، مدار توزیع و پخش کننده‌های حرارت هستند.

سیستم گردشی آب‌گرم یک سیستم بسته است و هوا به غیر از منبع انبساط باز در هیچ نقطه‌ای با آب در تماس نیست. برای توضیح بیشتر در ارتباط با سیستم‌های گردشی آب‌گرم ابتدا می‌بایست با پمپ و وظیفه آن در سیستم گردشی و سپس با انواع مدارهای توزیع آشنا شویم.

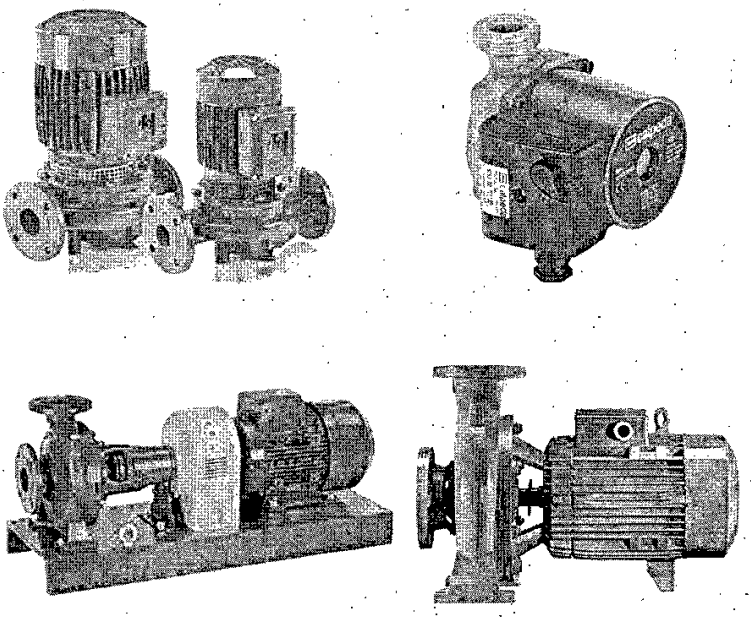
پمپ سیرکولاسیون

پمپ سیرکولاتور در سیستم آب‌گرم از نوع سانتریفوژ بوده و برای گردش آب‌گرم در دستگاه‌های پخش‌کننده گرما، جهت تامین بار حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. پمپ‌های گردشی فشار سیستم را بالا نمی‌برند و اختلاف فشار دو سر پمپ(ΔP) صرفاً معادل افت فشار دینامیکی (اصطکاکی و سرعتی) ایجاد شده در مدار است.



شکل۴-۱: افزایش فشار توسط پمپ‌های سیرکولاتور

این پمپ‌ها با توجه به نحوه قرارگیری در مدار، به دو دسته زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:



شکل۴-۲: پمپ‌های سیرکولاتور خطی و زمینی ساخت کالپدا

۱ـ خطی[1]: در این حالت پمپ بر روی مدار نصب می‌شود که به آنها پمپ خطی می‌گویند. پمپ‌های خطی می‌تواند تک‌قلو و یا دوقلو تک‌دور و یا چند دور باشد.

۲ـ زمینی[2]: در ظرفیت‌های بالا پمپ و الکتروموتور سنگین بوده و مدار توانایی تحمل وزن آنها را ندارد لذا در این حالت آن را روی شاسی بر روی زمین قرار می‌دهند و برای کاهش ارتعاشات از لرزه گیرهای مخصوص استفاده می‌شود.

روابط تشابهی حاکم بر پمپ‌های سانتریفیوژ

روابط تشابهی حاکم بر پمپ‌های سانتریفیوژ عبارتند از:

۱. قوانین تشابه قطر پروانه
۲. قوانین تشابه دور پمپ

قوانین تشابه قطر پروانه (به شرط ثابت ماندن راندمان)

- تغییرات دبی با نسبت تغییرات قطر پروانه متناسب است
- تغییرات هد با مربع نسبت تغییرات قطر پروانه متناسب است
- تغییرات توان با مکعب نسبت تغییرات قطر پروانه متناسب است

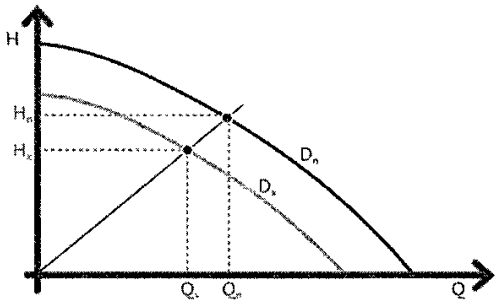
1- In Line
2- End suction centrifugal pump

$Q۱ / Q۲ = D۱ / D۲$ Q دبی

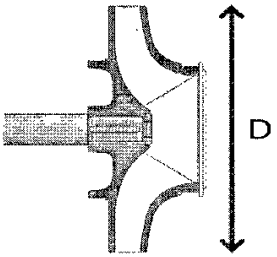
$H۱ / H۲ = (D۱)^۲ / (D۲)^۲$ H هد

$BHp۱ / BHp۲ = (D۱)^۳ / (D۲)^۳$ BHp توان

D قطر پروانه



شکل ۴-۳: تغییر منحنی عملکرد پمپ باتراش پروانه



شکل ۴-۴: شماتیک پروانه پمپ

چنانچه به واسطه تراش پروانه و ایجاد فاصله مابین پروانه و محفظه پمپ در وظیفه پمپ که همانا سرعت دادن به آب و سپس تبدیل سرعت به فشار است اختلال ایجاد شود و راندمان تغییر کند این قوانین دیگر صادق نخواهد بود.

قوانین تغییر دور بر روی پمپ (به شرط ثابت ماندن راندمان)

دور یک موتور وابسته به فرکانس آن است. به عبارت دیگر دور موتور AC برابر است با فرکانس ضرب‌در یک ضریب ثابت که تابعی از تعداد قطب موتور می‌باشد.

$$\text{Speed(rpm)} = \frac{۶۰ \times ۲ \times \text{frequency}}{\text{Numberofpoles}} = \frac{۱۲۰ \times f}{p} \qquad (۱-۴)$$

در موتورهای ۴ پل با فرکانس ۵۰ هرتز (برق ایران) دور نامی موتورها ۱۵۰۰(۱۴۵۰دور واقعی) و در موتورهای ۲ پل ۳۰۰۰ دور(۲۹۰۰دور واقعی) می‌باشد.

بنابراین برای تغییر دور یک موتور لازم است فرکانس آن را تغییر بدهیم. از این رو به دستگاه‌های

مبدل فرکانس احتیاج است.

طبق قوانین حاکم بر پمپ‌ها با تغییر دور میزان دبی و هد و مصرف انرژی پمپ تغییر خواهد کرد.

- تغییرات دبی با نسبت تغییرات دور پروانه متناسب است
- تغییرات هد با مربع نسبت تغییرات دور متناسب است
- تغییرات توان با مکعب نسبت تغییرات دور پروانه متناسب است

$Q۱ / Q۲ = N۱ / N۲$

$H۱ / H۲ = (N۱)^۲ / (N۲)^۲$

$BHp۱ / BHp۲ = (N۱)^۳ / (N۲)^۳$

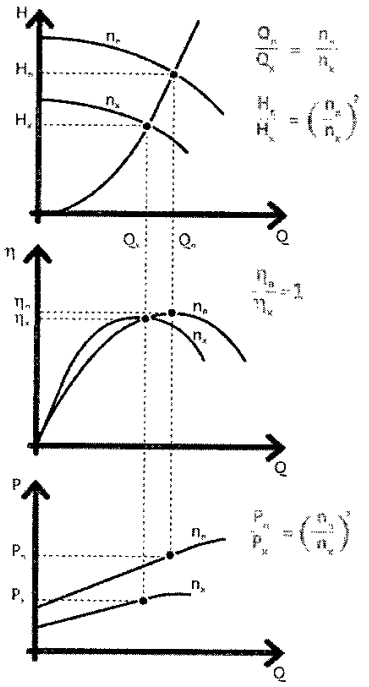
Q دبی

H هد

BHp توان

N دور موتور

مثال:



با ۲ برابر کردن سرعت پمپ از ۱۴۵۰به۲۹۰۰

- دبی ۲ برابر شده.
- هد ۴ برابر می‌شود.
- توان مصرفی ۸ برابر می‌شود.

✓ نامیزانی‌ها افزایش می‌یابد.

✓ فرسایش پروانه افزایش می‌یابد.

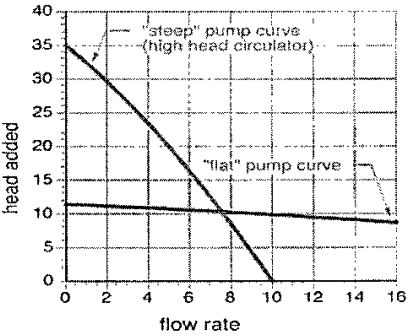
✓ سایش در لوله و زانوها افزایش می‌یابد.

✓ فرسایش رینگ سایشی افزایش می‌یابد.

در نتیجه امکان خرابی بالا رفته و هزینه‌های نگهداری را افزایش خواهد داد.

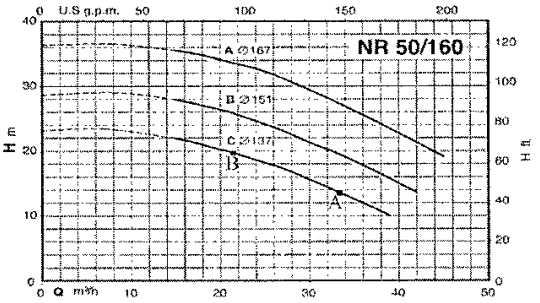
به‌همین دلیل‌عموماً درپمپ‌های سیرکولاسیون که دائم‌کار هستند از پمپ‌های۱۴۵۰دور استفاده می‌شود.

با توجه به قوانین تغییر دور در پمپ‌های سانتریفیوژ می‌توان دریافت که پمپ‌های با دور ۲۹۰۰ RPM دارای منحنی با شیب تندتری نسبت به پمپ‌های با دور ۱۴۵۰ RPM هستند.

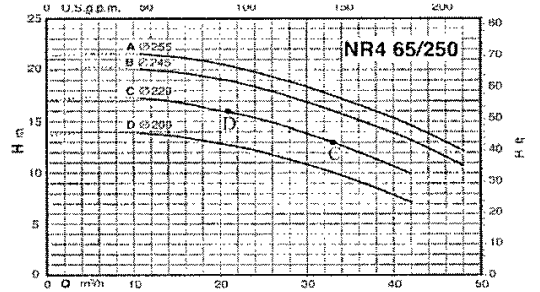


شکل۴-۵: منحنی پمپ‌های سیرکولاتور با منحنی تخت و منحنی تیز

بدین ترتیب با تغییرات جریان هد ایجاد شده توسط پمپ ۲۹۰۰دور با سرعت بیشتری نسبت به پمپ۱۴۵۰دور تغییر می‌کند.



شکل ۴-۶: شکل الف پمپ سیرکولاتور ۲۹۰۰ دور کالپدا مدل *NR50-160C*



شکل ۴-۶: شکل ب پمپ سیرکولاتور ۱۴۵۰ دور کالپدا مدل *NR465-250C*

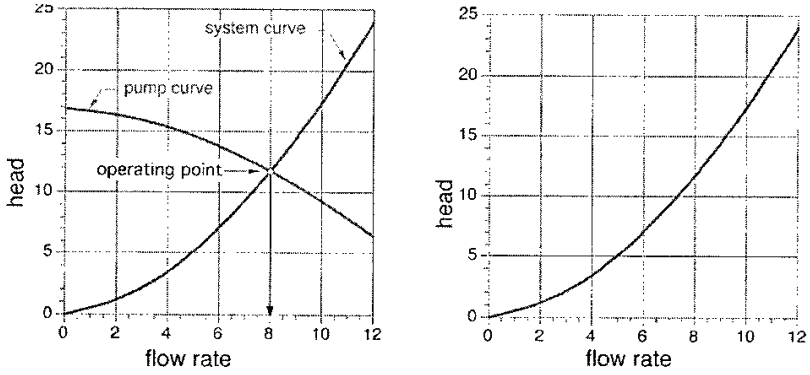
برای مثال شکل ۴-۶ منحنی عملکرد دو پمپ گردشی روی خطی با موتور ۳HP را نشان می‌دهد. در شکل۴-۶ الف پمپ ۲۹۰۰دور پمپ با سایز"۲ (NR50-160C) در جریان ۳۳ مترمکعب بر ساعت هدی برابر۱۳,۷ متر را ایجاد می‌کند.(نقطهA) حال چنانچه مثلاً به‌دلیل بسته شدن شیرهای ترموستاتیک

دو راهه موجود در مدار گردشی جریان عبوری ۳۵٪ کاهش یابد و به۲۱ متر مکعب بر ساعت برسد هد پمپ۲۹۰۰ دور با ۴۵٪ افزایش به ۲۰ متر خواهد رسید(نقطهB) اما در شکل۴-۶ ب پمپ"۱۴۵۰۲½ دور (NR465-250C) در جریان۳۳مترمکعببر ساعت هدی برابر ۱۳متر را ایجاد می‌کند(نقطه C) و با رسیدن جریان به۲۱ متر مکعب بر ساعت هد تنها با ۲۵٪ افزایش به ۱۶ متر خواهد رسید. (نقطهD)

پمپ‌های۱۴۵۰ دور دارای عمر طولانی‌تری هستند و نیز صدای بسیار کمی دارند و به غیر از مواردی که توان تامین هد مورد نیاز سیستم را ندارند و ملزم به استفاده از پمپ ۲۹۰۰دور هستیم بهتر است از پمپ‌های ۱۴۵۰ دور برای سیستم‌های گردشی استفاده شود. البته همانطور که در مثال فوق نیز مشخص است پمپ‌های گردشی ۲۹۰۰دور در هد و دبی برابر سایز کوچک‌تری نسبت به پمپ‌های۱۴۵۰ دور دارند و بنابراین دارای قیمت مناسب‌تری هستند.

محاسبه و انتخاب پمپ‌های سیرکولاتور

در سیستم‌های گردشی از آنجاییکه هد استاتیک وجود ندارد و تنها هد دینامیک وجود دارد، درجریان برابر صفر(Q=0) هد نیز برابر صفر(H=0) خواهد بود. با تغییر جریان پمپاژ هد نیز تغییر می‌کند. بنابراین هر سیستم گردشی دارای یک منحنی هد و دبی بوده که از نقطه Q=0 و H=0 شروع می‌شود و اصطلاحاً به آن منحنی سیستم اطلاق می‌شود. نقطه عملکرد پمپ نیز در واقع محل تلاقی همین منحنی سیستم و منحنی پمپ است.



شکل ۴-۷: منحنی سیستم و منحنی پمپ

در شکل فوق نقطه Operating Point محل تلاقی منحنی پمپ و منحنی سیستم است و این نقطه محل دقیق عملکرد پمپ خواهد بود.

برای محاسبه منحنی سیستم باید به کمک رابطه دارسی وایسباخ هد سیستم لوله‌کشی را به ازاء دبی‌های مختلف محاسبه کنیم و سپس به افت ایجاد شده در پخش کننده‌های گرما و دیگ و شیرآلات در همان دبی بی‌افزاییم. حال با داشتن هد و دبی‌های مختلف می‌توان منحنی سیستم را رسم نمود.

از آنجاییکه سیستم‌های گردشی متشکل از لوله در سایزهای مختلف و انواع شیر دوراهه و سه‌راهه و مدارهای سری و موازی کوچک و بزرگ هستند عملاً محاسبه منحنی سیستم عملی نیست.بنابراین برای محاسبه هد پمپ باید دورترین وسیله پخش‌کننده حرارت را در نظر بگیریم و هد مورد نیاز آن را بدست

آوریم سپس براساس انرژی مورد نیاز ساختمان به محاسبه دبی بپردازیم.

محاسبه هد پمپ‌های سیرکولاتور

با توجه به اینکه سیستم‌های گرمایش و سرمایش یک سیکل بسته می‌باشند لذا پمپ سیرکولاتور ، فشار سیستم را بالا نمی‌برد بلکه فقط افت فشارهای طولی و محلی ناشی از سیستم لوله‌کشی، شیرآلات، دیگ، رادیاتور، فن کوئل، هواساز و.. را جبران می‌کند به عبارت دیگر هد مورد نیاز (هد پمپ) برابر هد معادل مجموع افت فشارهای طولی و محلی است. از آنجاییکه هد پمپ باید به اندازه‌ای باشد که آب را تا دورترین دستگاه پخش‌کننده حرارت به گردش درآورد لذا هد پمپ را براساس افت فشارهای طولی و محلی بحرانی‌ترین مسیر (که معمولاً طولانی‌ترین مسیر است) نسبت به پمپ محاسبه می‌کنیم یعنی ابتدا طولانی‌ترین مسیر را پیدا و سپس افت فشارهای طولی و محلی آن را محاسبه می‌کنیم و براساس آن هد لازم را بدست می‌آوریم.

۱ـ افت فشار طولی: به افت فشاری که در اثر اصطکاک آب با جدار داخلی لوله در لوله‌های مستقیم ایجاد می‌شود افت فشار طولی می‌گویند. این افت فشار وابسته به سرعت جریان آب، زبری سطح داخلی، طول و قطر لوله است. برای محاسبه دقیق آن باید از رابطه معروف دارسی- ویسباخ[1] استفاده شود که بسیار زمان‌بر است. نظر به اینکه قطر لوله‌ها را با توجه به افت فشار و سرعت جریان آب مشخصی انتخاب می‌کنیم و لوله‌های مورد استفاده زبری تقریباً یکسانی دارند لذا با دقت قابل قبولی برای تعیین افت فشار طولی می‌توان از رابطه زیر استفاده کنیم.

$$h_1 = 2L \times 0/025 = 0/05L \qquad (۲-۴)$$

در این رابطه h_1 افت هد طولی و L طول مسیر رفت لوله‌کشی می‌باشد و فرض شده مقدار آن برابر طول مسیر برگشت باشد. توجه شود که این رابطه براساس افت فشار ثابت در مسیر لوله‌کشی و برابر یا در هر متر لوله، بدست آمده است.

۲ـ افت فشار محلی: به افت فشار ناشی از شیرآلات، زانوها، دیگ، کلکتور و آخرین وسیله پخش‌کننده حرارت افت فشار محلی گفته می‌شود. با توجه به اینکه بدست آوردن افت فشار محلی به‌طور دقیق تقریباً غیر ممکن است به طور تقریبی آن را بدست می‌آوریم. برای محاسبه افت فشار محلی از تقریب‌های زیر استفاده می‌کنیم.

- افت فشار شیرآلات و زانوها را نصف افت فشار طولی در نظر می‌گیریم

$$h = 0/5h_1 = 0/025L \qquad (۳-۴)$$

- افت فشار دیگ را ۱۰۰۰ پاسکال معادل یک متر ستون آب در نظر می‌گیریم
- افت هرکدام از کلکتورهای رفت و برگشت را ۵۰۰ پاسکال معادل نیم متر ستون آب در نظر می‌گیریم.
- افت فشار آخرین وسیله پخش‌کننده گرما را بین ۱۰۰-۲۰۰ پاسکال معادل ۰/۱-۰/۲ متر ستون آب در نظر می‌گیریم. در مورد فن کوئل و هواسازها باید به کاتالوگ شرکت سازنده مراجعه شود.

توجه شود که درصورتیکه افت فشار هرکدام از موارد بالا در کاتالوگ شرکت سازنده موجود بود از آن استفاده کنید در غیر اینصورت می‌توان با دقت قابل قبولی از فرضیات بالا استفاده کرد.

1- Darcy-Weisbach

با در نظر گرفتن فرضیات بالا افت فشار محلی از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$H=0.25L+2.15 \qquad (۴-۴)$$

در این رابطه افت هد محلی بر حسب متر است و L طول مسیر رفت بوده و واحد آن باید متر باشد زیرا واحد عدد ۲/۱۵ نیز متر است.

در نهایت برای محاسبه هد پمپ در سیستم‌های گرمایشی از رابطه زیر استفاده می‌کنیم که برابر مجموع افت هدهای طولی و محلی است.

$$h_P = ۰/۰۷۵L + ۲/۱۵ \qquad (۵-۴)$$

که در این رابطه h_P هد پمپ بر حسب متر وL طول مسیر رفت یا برگشت آب به دورترین وسیله نسبت به پمپ بر حسب متر می‌باشد.

با توجه به رابطه فوق مشخص است که هد پمپ‌های سیرکولاتور مستقل از ارتفاع ساختمان می‌باشد و فقط وابسته به طول مسیر لوله‌کشی است.

محاسبه دبی پمپ‌های سیرکولاتور

دبی پمپ سیرکولاتور وابسته به بار حرارتی ساختمان است و باید به اندازه‌ای باشد که مقدار آب‌گرم مورد نیاز تمام دستگاه‌های پخش کننده حرارت و مخزن آب‌گرم مصرفی را در مدار آنها به جریان در آورد. به عبارت دیگر در صورتیکه از یک پمپ مشترک برای سیستم گرمایش و مخزن آب‌گرم مصرفی استفاده شود دبی پمپ سیرکولاتور برابر است با مجموع دبی دستگاه‌های پخش کننده حرارت به اضافه دبی مورد نیاز مخزن آب‌گرم مصرفی ولی اگر از دو پمپ جداگانه برای سیستم گرم کننده و مخزن آب‌گرم استفاده شود دبی هر پمپ باید بطور جداگانه محاسبه گردد. با مشخص بودن بار حرارتی ساختمان دبی پمپ سیرکولاتور از قانون بقای انرژی بدست می‌آید.

$$H = \dot{m}c\Delta T = \rho Vc\Delta T \qquad (۶-۴)$$

با توجه به مقدار انرژی مورد نیاز و براساس اختلاف دمای رفت و برگشت می‌توان به کمک فرمول زیر دبی پمپ را محاسبه نمود.

$$GPM = \frac{BTU/h}{۵۰۰\times\Delta T(^\circ F)}$$

$$\Delta T(^\circ F) = \frac{BTU/h}{۵۰۰\times GPM} \qquad (۷-۴)$$

در طراحی سیستم‌های حرارت مرکزی اختلاف دمای آب ورودی و خروجی دیگ برابر ۲۰ درجه فارنهایت معادل ۱۱ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته می‌شود. بنابراین در سیستم گرمایش انرژی قابل انتقال توسط هرgpm آب گردشی برابر ۱۰,۰۰۰ BTU/h خواهد بود.

توجه شود که اگر از یک پمپ مشترک برای گرمایش ساختمان و مخزن آب‌گرم مصرفی استفاده شود مقدار دبی برابر خواهد بود با مجموع بار حرارتی ساختمان و آب‌گرم مصرفی. پس از محاسبه هد و دبی پمپ با مراجعه به کاتالوگ شرکت سازنده پمپ مناسب را انتخاب می‌کنیم.

به عنوان محاسبات سر انگشتی در شهری با شرایط تهران در ساختمان با ارتفاع سقف استاندارد به ازائ هر متر مربع۴۰۰-۵۰۰BTU/h گرمایش نیاز است.

پس از محاسبه هد و دبی پمپ سیرکولاتور باید به چند نکته مهم دقت نمود.

۱- آیا جریان مورد نیاز پمپاژ همیشه یکسان است؟

صد البته که اینطور نیست. گردش آب برای انتقال انرژی صورت می‌گیرد و انرژی مورد نیاز ساختمان در فصول مختلف متفاوت است. بنابراین انرژی کمتر یعنی دبی کوچکتر.

۲- چنانچه از پمپ دور ثابت در سیستم گردشی استفاده شود در بار کم چه اتفاقی می‌افتد؟

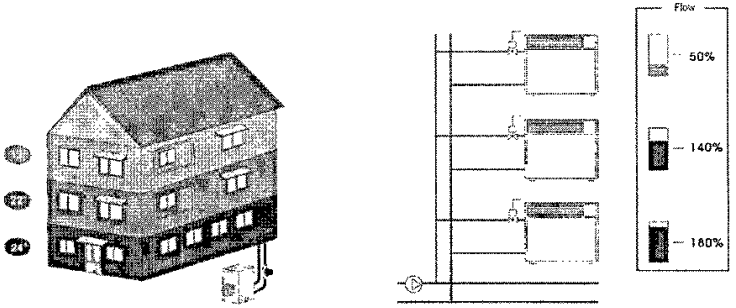
انتخاب پمپ گردشی براساس بار کامل صورت می‌گیرد تا پمپ بتواند در بار کامل انرژی مورد نیاز را تامین کند. حال چناچه پمپ دور ثابت باشد همانطور که از فرمول مشخص است با کاهش انرژی مورد نیاز اختلاف دمای رفت و برگشت کم خواهد شد. از طرف دیگر چنانچه پخش کننده‌های حرارت مثل رادیاتورها مجهز به شیر ترموستاتیک باشند با بسته شدن شیرها جریان مورد نیاز سیستم کاهش یافته و عملکرد پمپ به سمت چپ منحنی حرکت می‌کند. در این شرایط هد پمپ گردشی بالا رفته و سبب افزایش فشار سیستم خواهد شد. در پمپ‌های گردشی که هد نسبتاً بالایی دارند با حرکت نقطه عملکرد پمپ به سمت چپ و افزایش فشار سیستم آب از منبع انبساط باز سرریز خواهد کرد.

۳- آیا توزیع انرژی در سیستم گردشی یکسان است؟

جواب این سوال را می‌توان با این ضرب المثل داد: "*آب راه خود را پیدا می‌کند*"

در سیستم‌های گردشی آب‌گرم دقیقاً همین شرایط حاکم است و آب ساده‌ترین راه را برای گردش پیدا می‌کند. بنابراین ممکن است gpmکمتری از آن چیزی که مورد نیاز است به سایر پخش کننده‌های گرما برسد.

برای مثال به شکل زیر توجه کنید.آب پس از خروج از بویلر توسط پمپ به داخل ساختمان به گردش در می‌آید. در این میان طبقه اول ساده‌ترین مسیر برای گردش آب پمپ شده را دارد. در این شرایط آب ترجیح می‌دهد که از ساده‌ترین راه استفاده کند. این افزایش جریان رفته رفته به افزایش افت در سیستم لوله‌کشی طبقه اول می‌انجامد. این امر تا آنجا ادامه پیدا می‌کند که اختلاف فشار دو سر مدار طبقه اول (ΔP) برابر خط اصلی شود. در این زمان مازاد gpm پمپ شده از طرف پمپ به سمت طبقات بالا حرکت می‌کند. این شرایط در هر طبقه نسبت به طبقه بعد از خود حاکم است. بدین ترتیب دمای طبقات متغیر بوده و دمای طبقه اول از طبقات بالاتر بیشتر خواهد شد.



شکل ۴-۸: شماتیک سیستم نامتوازن

اما راهکار بالانس سیستم گردشی چیست؟ برای توضیح نحوهٔ بالانس سیستم گردشی ابتدا می‌بایست با انواع مدار توزیع در سیستم گردشی آب‌گرم آشنا شویم.

مدار توزیع

منظور از لوله‌کشی آب سیستم گرمایش، لوله‌کشی برای گردش آب‌گرم در داخل دستگاه‌های پخش‌کننده حرارت برای تامین نیازهای گرمایش در ساختمان است در سیستم‌های حرارت مرکزی شبکه لوله‌کشی از نظر تعداد لوله‌ها به دو صورت یک لوله‌ای و دو لوله‌ای تقسیم می‌شود.

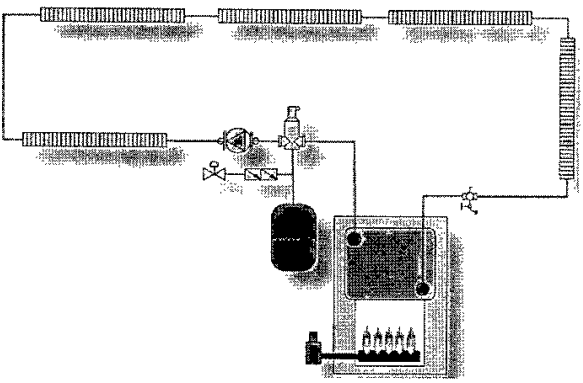
شبکه لوله‌کشی یک لوله‌ای

در این شبکه که ساده‌ترین شبکه لوله‌کشی است، از یک لوله برای ارسال آب‌گرم به دستگاه‌های پخش‌کننده حرارت استفاده می‌شود و این لوله وظیفه برگشت آب به دیگ را نیز بر عهده دارد یعنی آب‌گرم (یا سرد) دیگ (چیلر) به صورت سری به دستگاه‌های پخش‌کننده حرارت می‌رسد. در ساختمان‌هایی که امکان اجرای تعداد زیاد لوله وجود ندارد، مانند ساختمان‌های پیش ساخته بتنی که سوراخ کردن کف و دیوار اتاق‌ها دشوار است، می‌توان از شبکه لوله کشی یک لوله‌ای استفاده کرد.

عیب اصلی شبکه لوله‌کشی یک لوله‌ای این است که در اولین دستگاه پخش‌کننده حرارت بیشترین انتقال گرما و در آخرین دستگاه پخش‌کننده حرارت کمترین انتقال گرما صورت می‌گیرد و اگر تعداد دستگاه پخش‌کننده حرارت زیاد باشد امکان دارد آخرین دستگاه گرم نشود. لذا اغلب توصیه می‌شود تعداد دستگاه پخش حرارت در شبکه لوله کشی یک لوله‌ای از حدود ۱۰ دستگاه تجاوز نکند. البته برای برطرف کردن این عیب در جاهایی که تعداد دستگاه‌های پخش‌کننده حرارت کم است معمولاً با حرکت در راستای لوله، اندازه دستگاه پخش‌کننده حرارت را بیشتر می‌کنند یعنی با افزایش سطح تماس دستگاه‌های پخش حرارتی که در انتهای لوله قرار دارند افت توان ناشی از کاهش دمای آب‌گرم ورودی به آنها تا حدودی جبران می‌شود. شبکه لوله‌کشی یک لوله‌ای به دو روش سری و انشعابی اجراء می‌شود.

سری

در این نوع لوله‌کشی دستگاه‌های پخش‌کننده حرارت یا برودت به صورت سری با لوله مدار قرار می‌گیرند و کل جریان آب از تمام دستگاه‌ها عبور می‌کند. شماتیک شبکه لوله‌کشی یک لوله‌ای نوع سری در شکل۴-۹ آمده است.



شکل ۴-۹: شماتیک لوله‌کشی تک لوله‌ای

مشکلات این نوع شبکه لوله‌کشی عبارتند از:

۱- غیر ممکن بودن کنترل دما در هر واحد

۲- محدودیت از نظر تعداد دستگاه پخش‌کننده حرارت یا برودت

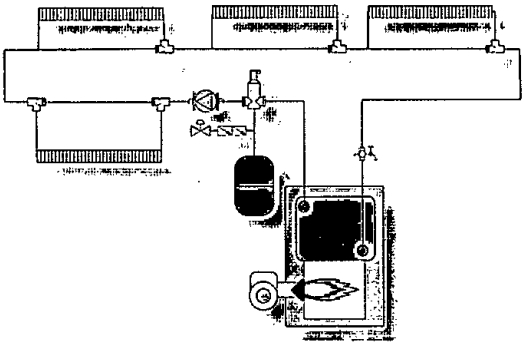
۳- در صورتی که یکی از دستگاه‌ها خراب شود یا نیاز به تعمیر داشته باشد کل مدار قطع می‌شود.

۴- از نظر حرارتی نا متعادل است. (اولین دستگاه بیشترین انتقال حرارت را با محیط انجام می‌دهد)

بنابراین به‌دلیل مشکلات زیادی که این نوع شبکه لوله‌کشی دارد اجرای آن به هیچ‌وجه توصیه نمی‌شود.

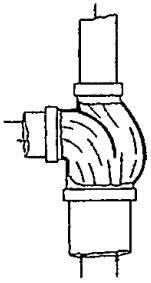
انشعابی

در این شبکه لوله‌کشی دستگاه‌های پخش‌کننده حرارت یا برودت به صورت موازی با لوله مدار قرار می‌گیرند. در شکل۴-۱۰ نحوه لوله‌کشی یک لوله‌ای نوع انشعابی نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۰: شماتیک شبکه لوله‌کشی یک لوله‌ای انشعابی

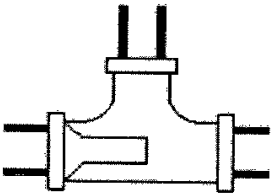
در این نوع لوله‌کشی مقدار آب ورودی به هر یک از دستگاه‌ها توسط سه‌راهی منحرف کننده[1] کنترل می‌شود. سه‌راهی منحرف‌کننده دارای یک انحراف‌کننده است که باعث می‌گردد مقدار مشخصی آب به داخل هر یک از دستگاه‌های پخش‌کننده حرارت یا برودت منتقل شود و بقیه از مسیر کنار گذر عبور کند. یک نمونه سه‌راهی منحرف‌کننده در شکل (۴-۱۱) آمده است.



شکل۴-۱۱: سه‌راهی منحرف کننده

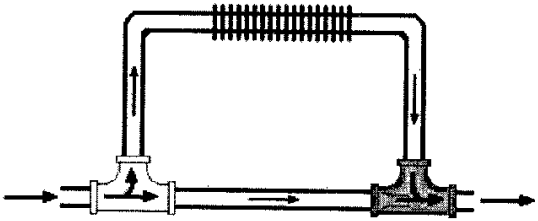
1- Diverter-Tee

یک روش دیگر برای کنترل مقدار آب انتقالی به دستگاه‌های پخش‌کننده حرارت ایجاد افت فشار توسط سه‌راهی محدودکننده در مسیر اصلی است. شماتیک سه‌راهی محدودکننده در شکل (۴-۱۲) آمده است.



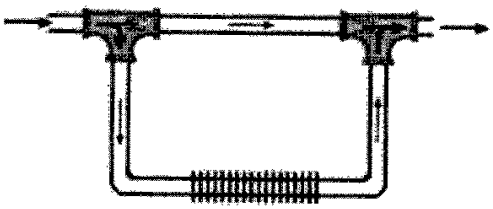
شکل۴-۱۲: شماتیک سه‌راهی محدود کننده

در صورتیکه دستگاه پخش‌کننده حرارت یا برودت بالاتر از حلقه اصلی مدار قرار گرفته باشد همانند شکل (۴-۱۳) یک سه‌راهی محدودکننده در مدار اصلی و در محل برگشت آب از دستگاه به مدار، نصب می‌شود. بسته به مقدار افت فشاری که این سه راهی محدودکننده در مسیر اصلی ایجاد می‌کند دبی آب‌گرم یا سرد عبوری از دستگاه مشخص می‌شود. برای کنترل بیشتر دستگاه می‌توان از یک شیر ترموستاتیک استفاده کرد که وابسته به دمای محیط افت فشار و در نتیجه دبی ورودی به دستگاه را تنظیم کند.



شکل ۴-۱۳: استفاده از سه‌راهی محدودکننده هنگامی که دستگاه بالاتر از حلقه اصلی مدار قرار گرفته باشد

و در صورتیکه دستگاه پخش‌کننده حرارت یا برودت پایین‌تر از حلقه اصلی مدار قرار گرفته باشد و یا حلقه خیلی طولانی باشد، همانند شکل (۴-۱۴) از دو عدد سه‌راهی محدودکننده در مسیر مدار اصلی استفاده می‌شود. یکی در محل برگشت آب از دستگاه به مدار اصلی و دیگری در محل انشعاب لوله ورود آب به دستگاه نصب می‌شود.



شکل ۴-۱۴: استفاده از سه‌راهی محدودکننده هنگامی که دستگاه پایین‌تر از حلقه اصلی مدار قرار گرفته باشد

مزیت اصلی این نوع شبکه لوله‌کشی نسبت به نوع سری این است که در صورت قطع یکی از دستگاه‌ها مدار قطع نمی‌شود و هر کدام از دستگاه‌ها به‌تنهایی قابل کنترل می‌باشند. البته این شبکه نیز از نظر حرارتی نامتعادل است و از نظر تعداد دستگاه پخش‌کننده حرارت یا برودت محدودیت دارد.

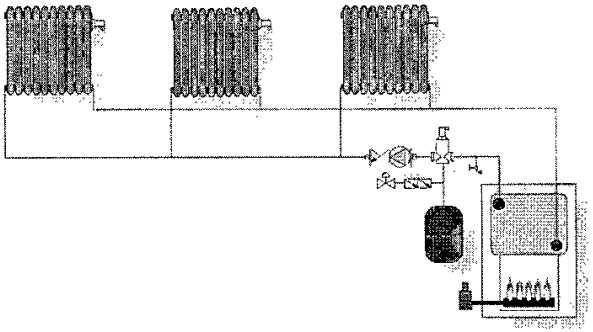
شبکه لوله‌کشی دو لوله‌ای

در این نوع لوله‌کشی از لوله‌های مجزا برای تامین آب‌گرم (یا سرد) به دستگاه‌های پخش‌کننده حرارت(یا برودت) و برگشت آب به دیگ (یا چیلر) استفاده می‌شود.(لوله‌های رفت و برگشت مجزا هستند) برحسب نحوه برگشت آب به موتورخانه، (وقتی که دو یا چند دستگاه پخش‌کننده حرارت با هم در یک مدار نصب می‌شوند) به سه روش زیر اجراء می‌گردد که هرکدام از این سه روش می‌توانند به صورت جریان ثابت و یا متغییر عمل کند.

۱) لوله‌کشی با برگشت مستقیم
۲) لوله‌کشی با برگشت معکوس
۳) لوله‌کشی مختلط

لوله‌کشی با برگشت مستقیم[1]

در این روش، آب برگشتی از هر دستگاه پخش‌کننده حرارت مستقیماً وارد لوله برگشت شده و به سمت دیگ در موتورخانه منتقل می‌شود.

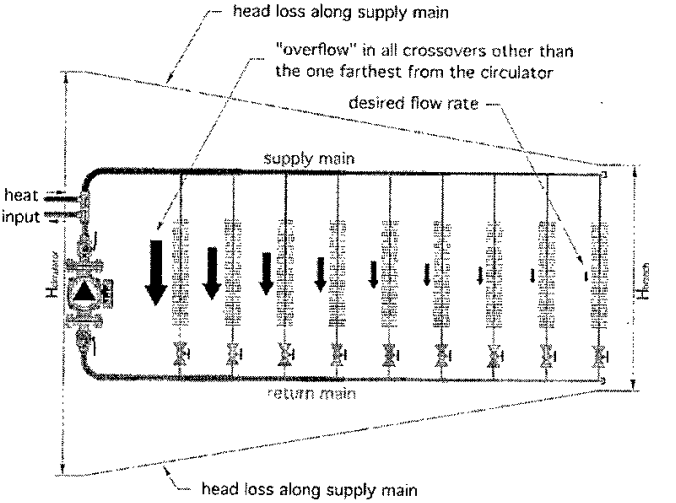


شکل ۴-۱۵: شماتیک شبکه لوله‌کشی دو لوله‌ای با برگشت مستقیم

در این نوع لوله‌کشی، مجموع طول لوله‌های رفت و برگشت دستگاه‌های پخش‌کننده حرارت برابر نیست لذا شبکه لوله‌کشی از نظر حرارتی متعادل نخواهد بود برای مثال دستگاه پخش کننده حرارتی که به موتورخانه نزدیک‌تر است نسبت به دستگاه‌های دیگر، مجموع طول لوله رفت و برگشت کمتر و در نتیجه افت فشار اصطکاکی کمتری در مسیر دارد و آب‌گرم در مدار آن بیشتر گردش می‌کند.، این باعث می‌شود که دستگاه‌های پخش‌کننده حرارت نزدیک‌تر به موتورخانه گرم‌تر بوده و گرمای بیشتری به محیط منتقل کنند. شکل ۴-۱۶ طریقه لوله‌کشی با برگشت مستقیم را نشان می‌دهد همانطور که مشاهده می‌شود طول و افت فشار مسیر لوله‌کشی دستگاه پخش حرارت(برودت) موجود در مدار نزدیک

1- Direct Returen Piping

به پمپ از بقیه مسیرها کمتر است لذا آب‌گرم(سرد) در آن بیشتر جریان می‌یابد و نسبت به بقیه دستگاه‌های پخش حرارت(برودت) انتقال حرارت بیشتری با محیط انجام می‌دهد.



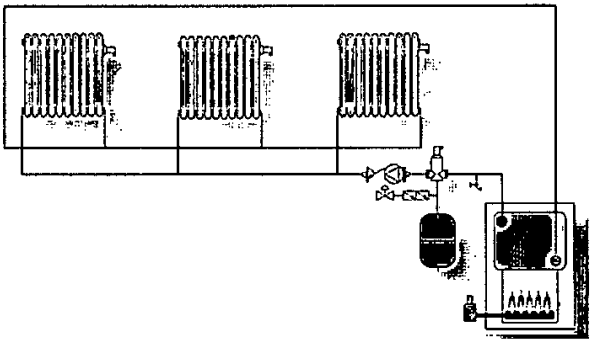
شکل ۴-۱۶: شماتیک جریان در شبکه لوله‌کشی دو لوله‌ای با برگشت مستقیم

مزایای لوله‌کشی با برگشت مستقیم عبارت‌اند از هزینه و مصرف لوله کمتر (البته فقط در صورتیکه مصرف کننده‌ها بصورت خطی نسبت به یکدیگر قرار گیرند)، سادگی، سرعت اجرای لوله‌کشی و همچنین کاهش فضای مورد نیاز برای لوله‌کشی. عیب اصلی آن عدم تعادل شبکه از نظر حرارتی است. این نوع لوله‌کشی برای ساختمان‌های با متراژ کم(ساختمان‌های کوچک یا ساختمان‌های بلند با متراژ کم)، شبکه‌های باز و جاهایی که از دستگاه‌های پخش‌کننده حرارت با افت فشارهای داخلی نامساوی (مثل فن‌کویل‌ها) استفاده می‌شود توصیه می‌شود. در این نوع لوله‌کشی هر کدام از دستگاه‌ها شیر تنظیم کننده[1] یا زانو قفلی دارند. با استفاده از شیر تنظیم‌کننده یا زانو قفلی می‌توان تا حدودی شبکه را از نظر حرارتی متعادل کرد.

لوله‌کشی با برگشت معکوس[2]

برای رفع مشکل نامتعادل بودن شبکه، در لوله‌کشی با برگشت مستقیم از لوله‌کشی با برگشت معکوس استفاده می‌شود. در این سیستم برای متعادل کردن شبکه از نظر حرارتی، لوله‌کشی رفت و برگشت دستگاه‌های پخش‌کننده حرارت طوری انجام می‌شود که مجموع طول لوله رفت و برگشت و در نتیجه افت فشار اصطکاکی مسیر لوله‌کشی برای تمام دستگاه‌ها برابر باشد و اگر افت فشار داخلی دستگاه‌ها نیز مساوی باشد، مقدار آب در هر مدار، متناسب با قطر لوله جریان می‌یابد و شبکه از نظر حرارتی متعادل خواهد بود در غیر اینصورت باید با استفاده از شیرهای متعادل کننده، شبکه را متعادل کرد. در شکل ۴-۱۷ شماتیک لوله‌کشی با برگشت معکوس آمده است.

1- Balancing valve
2- Reverse Return Piping



شکل ۴-۱۷: شماتیک شبکه لوله‌کشی دو لوله‌ای با برگشت معکوس

این شبکه لوله‌کشی نسبت به شبکه لوله‌کشی با برگشت مستقیم مزایای زیادی دارد از جمله متعادل بودن شبکه از نظر حرارتی و عدم محدودیت از نظر تعداد دستگاه پخش‌کننده حرارت یا برودت و معایب آن عبارتند از افزایش مصرف لوله، هزینه بالاتر، سختی اجراء و افزایش فضای اشغال شده توسط لوله‌ها.

در ساختمان‌هایی که دستگاه‌های پخش کننده حرارت دارای افت فشار داخلی تقریباً مساوی هستند و یا در ساختمان‌هایی که زیربنای زیادی دارند لوله‌کشی با برگشت معکوس یکی از بهترین روش‌ها برای بالانس سیستم است.

لوله‌کشی یونیت‌هیترها حتماً باید بصورت برگشت معکوس انجام شود ولی در مورد فن‌کویل‌ها این الزام وجود ندارد.

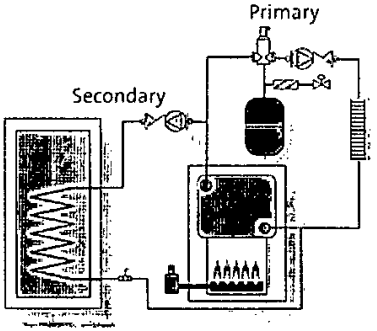
به دو روش می‌توان نحوه لوله‌کشی با برگشت معکوس و مستقیم را از همدیگر تشخیص داد:

در لوله‌کشی با برگشت معکوس میزان لوله‌کشی بیشتر است.

از روی قطر لوله‌های رفت و برگشت نیز می‌توان نوع لوله‌کشی را تشخیص داد به گونه‌ای که چنانچه قطر دو لوله رفت و برگشت همیشه یکسان باشند لوله‌کشی مستقیم است.

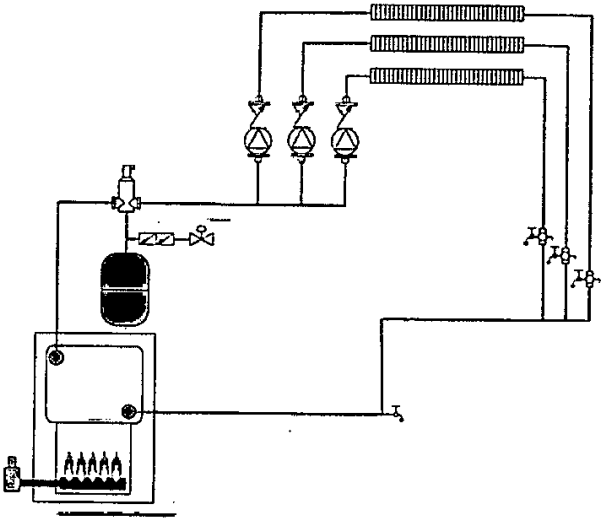
سیستم‌های دو و یا چند مداره:

مدار توزیع در سیستم‌های دو و یا چند مداره شامل دو و یا چند مدار مجزا است که هرکدام وظیفه به‌گردش درآوردن آب در یک مصرف‌کننده انرژی خاص را بر عهده دارند.



شکل ۴-۱۸: شماتیک شبکه لوله‌کشی دو مداره

برای مثال در یک ساختمان یک پمپ گردشی در مدار اولیه آب‌گرم دیگ را برای رادیاتورهای طبقات به گردش در می‌آورد و پمپ دیگری در مدار ثانویه آب‌گرم را برای منبع دو جداره آب‌گرم مصرفی به گردش در می‌آورد. این سیستم بعضاً در ساختمان‌های بزرگ می‌تواند به صورت چند مداره طراحی و نصب شود. برای عملکرد صحیح سیستم‌های چند مداره پمپ گردشی حتماً باید در مسیر رفت نصب شود.



شکل ۴-۱۹: شماتیک شبکه لوله‌کشی چند مداره

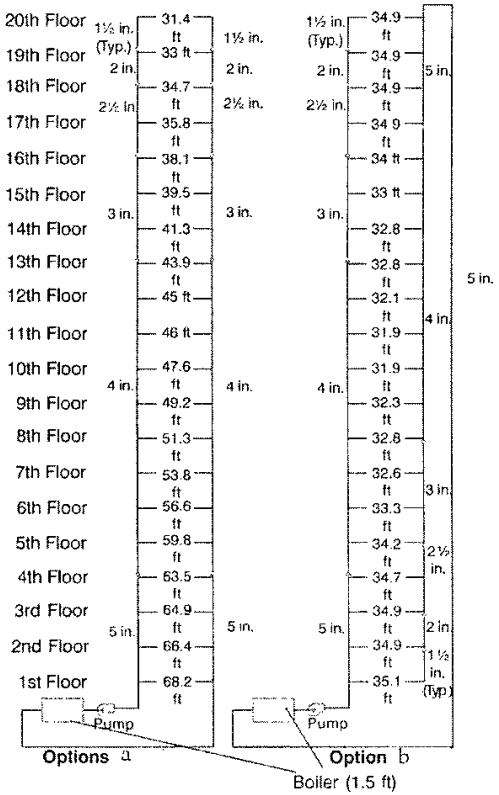
در این نوع لوله‌کشی ممکن است قسمتی از لوله‌کشی برگشت به صورت مستقیم و قسمت دیگر به طور معکوس انجام می‌شود.

بالانس سیستم‌های گردشی

اساساً بالانس سیستم سبب می‌شود با توزیع یکنواخت انرژی در پخش کننده‌های حرارت راندمان سیستم بالا رود و در نتیجه در مصرف انرژی صرفه‌جویی شود. در سیستم‌هایی که توزیع یکنواخت وجود ندارد برای آنکه جریان مورد نیاز پخش‌کننده‌های حرارتی که ΔP کوچکی دارند تامین شود مجبور خواهیم بود از پمپ گردشی بزرگ‌تری استفاده کنیم تا بتوانیم در بار کامل انرژی مورد نیاز کلیه پخش کننده‌ها را تامین کنیم. این امر هم هزینهٔ اولیه پروژه را افزایش می‌دهد و هم مصرف برق سالیانه را به‌شدت افزایش می‌دهد. از طرف دیگر انتخاب پمپ بزرگ سبب می‌شود در نیمه بار ΔT رفت و برگشت کم شود و نتیجتاً راندمان عملکرد بویلر نیز کاهش پیدا می‌کند. بنابراین بالانس سیستم امری حیاتی است.

همانطور که گفتیم استفاده از سیستم برگشت معکوس یکی از بهترین روش‌ها برای بالانس نگه داشتن سیستم است.

برای مثال شکل زیر شماتیک سیستم گردشی ساختمان ۲۰ طبقه‌ای را نشان می‌دهد که به دو روش برگشت مستقیم(شکل a) و برگشت معکوس(شکل b) لوله‌کشی شده است.



شکل ۴-۲۰: شبکه لوله‌کشی دو لوله‌ای با برگشت معکوس

شکلa: پمپ سیرکولاتور طبق وظیفه ذاتی خود برای غلبه بـر اصـطکاک هـدی را در مـسیر رفـت به‌وجود می‌آورد تا آب را در سیستم به‌گردش آورد. این هد در طبقه اول بیش از طبقه دوم و در طبقـه دوم بیشر از طبقه سوم و.... به همین ترتیب تا طبقه آخر است. آب هرچه به طرف طبقات بالا حرکت مـی‌کنـد افت اصطکاکی و سرعتی سیستم لوله‌کشی در آن تاثیر می‌گذارد تا آنجاییکه در طبقه آخر مینـیمم هـد در رفت وجود دارد. در خط برگشت نیز جریان آب به سمت پمپ برگشت پیدا می‌کند و با گـذر از هـر طبقـه مقداری افت در آن ایجاد می‌شود تا آنجا که در طبقه اول ماکزیمم افت در خط برگشت را خواهیم داشـت. بدین ترتیب در طبقه اول اختلاف فشار ورودی و خروجی(ΔP) بیشتر از طبقـه دوم و در طبقـه دوم بیـشتر از طبقه سوم و... به همین ترتیب تا طبقه آخر هر طبقه ΔP بیشتری از طبقه بعد از خود دارد. آب برگـشتی پس از گذر از از دیگ مجدداً وارد پمپ شده و افت ناشی از خط رفت و برگشت در آن جبران مـی‌شـود و مجدداً آب در سیستم به گردش درمی‌آید.

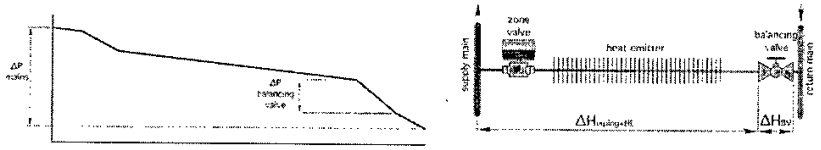
با این تفاصیل می‌توان دریافت که ΔP طبقه اول تقریباً عددی نزدیک بـه هـد ایجـاد شـده در پمـپ منهای افت دیگ خواهد بود. هرچه در طبقات به سمت بالا حرکت کنیم این ΔPکاهش یافته و در طبقـه آخر حداقلΔP را خواهیم داشت.

شکل b: لوله رفت مشابه شکل a است و در طبقه اول ماکزیمم هد را دارد. اما برگشت معکوس سبب می‌شود طبقه اول مینیمم افت و طبقهٔ آخر ماکزیمم افت در برگشت را داشته باشد. بدین‌ترتیب ΔP تمامی طبقات عددی تقریباً یکسان خواهد بود.

اما در این میان به یک نکته باید دقت نمود و آن اینکه از آنجاییکه سایز زنی سیستم لوله‌کشی برای بار کامل طراحی شده است و برای مثال در شهری مثل تهران جریان بار تبرید در اوج تابستان تقریباً ۳ برابر جریان بار گرمایش در پاییز است در این شرایط افت سیستم لوله‌کشی به‌دلیل سایز بزرگ آن در پاییز بسیار کم بوده و در نتیجه سیستم لوله‌کشی با برگشت معکوس عملاً کارایی خود را از دست می‌دهد.

شیرهای بالانس

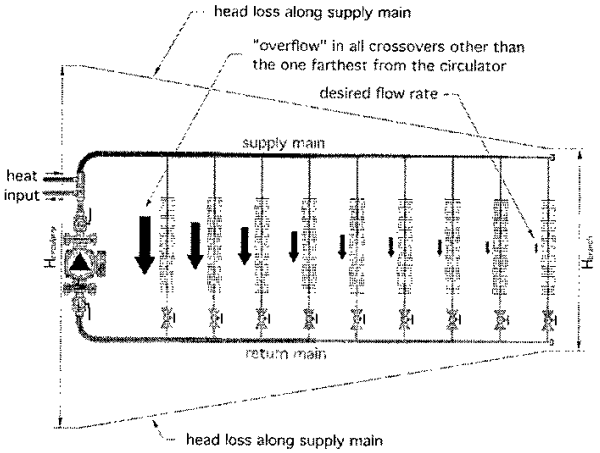
اما راه حل دیگری نیز برای بالانس سیستم وجود دارد و آن استفاده از شیرهای بالانس است. این شیرها با ایجاد هد مصنوعی ΔP خطوط توزیع را در همهٔ مدارها یکسان نگه می‌دارند تا بدین ترتیب توزیع جریان در تمام مدارها یکسان صورت گیرد.



شکل ۴-۲۱: شماتیک ایجاد هد مصنوعی توسط شیر بالانس

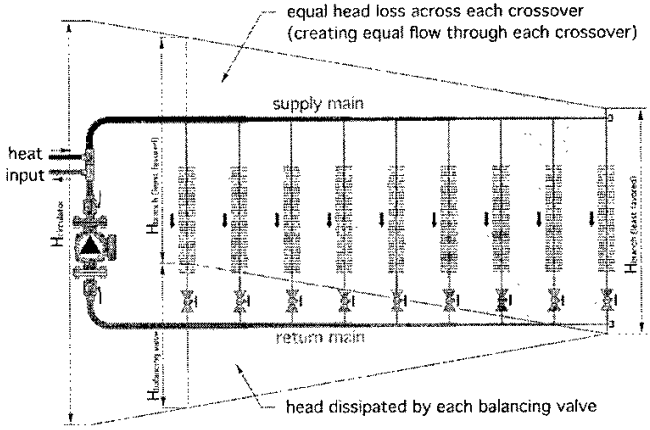
ستون عمودی نمودار فوق ΔP دو سر یک مدارگردشی را نشان می‌دهد. ΔP در این مدار از مجموع افت ناشی از پخش کننده‌های گرما و هد مصنوعی شیر بالانس تشکیل می‌شود.

برای مثال شکل ۴-۲۲ یک سیستم گردشی با برگشت مستقیم و با ۸ مدار را نشان می‌دهد. در سمت چپ شکل هد پمپ گردشی ($H_{circulator}$) و در سمت راست ΔP مدار آخر (H_{branch}) مشخص شده است.



شکل۴-۲۲: شماتیک جریان در شبکه لوله‌کشی دو لوله‌ای با برگشت مستقیم

در این حالت نزدیک‌ترین مدار به پمپ بیشترین ΔP را داشته (نزدیک به هد ایجاد شده توسط پمپ) و در نتیجه جریان عبوری از آن از همه مدارها بیشتر است. به همین ترتیب هر مدار از مدار بعد از خود مسیر ساده‌تری برای گذر آب بوده و در نتیجه گردش آب در سیستم نامتوازن خواهد شد.



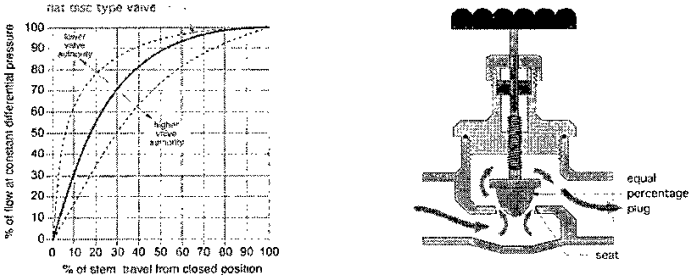
شکل ۴-۲۴: شماتیک جریان در شبکه لوله‌کشی دو لوله‌ای با برگشت مستقیم مجهز به شیر بالانس

برای بالانس این سیستم باید ΔP همه مدارها را با مدار آخر برابر کنیم. بدین ترتیب باید با نصب شیر بالانس برای هر یک از مدارها و ایجاد هد مصنوعی در هر مدارΔP همه مدارها را مساوی مدار آخر کنیم. هد ایجاد شده توسط شیر بالانس ($H_{baiancingvaive}$) هرچه به پمپ نزدیک‌تر شویم بیشتر می‌شود. بدین ترتیب همه مدارهاΔP برابری داشته و جریان برابری از آنها گذر خواهد کرد. در اینجا ذکر این نکته الزامی است که در سیستم بالانس پمپ به ایجاد هد کمتری احتیاج دارد.

انواع شیرهای بالانس

شیرهای کلاسیک(Globe style)

ساده‌ترین نوع شیر در بالانس سیستم است. سر فلکه این شیرها مدرج است و با توجه به درصد باز بودن شیر درصد جریان عبوری از آن مشخص می‌شود. حال با توجه با سایز شیر می‌توان با مراجعه به کاتالوگ سازنده میزان جریان عبوری از آن را محاسبه نمود.



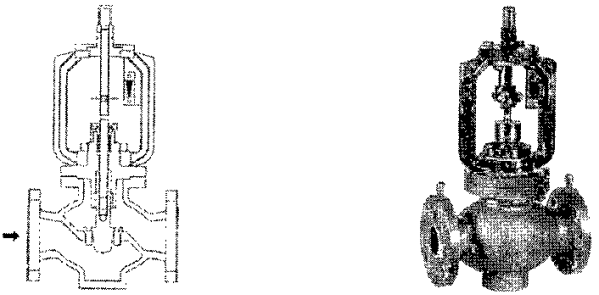
شکل ۴-۲۵: شماتیک شیر کلاسیک

این شیرها در ساختمان‌های کوچک مجهز به پمپ دور ثابت و بدون شیر کنترل ترموستاتیک که حداکثر جریان مورد نیاز جهت تامین انرژی هر طبقه مشخص است کاربرد داشته و اجازه عبور جریان بیشتر را نخواهد داد. بدین ترتیب یا نصب این شیر روی خط برگشت هر مدار جریان عبوری از آن بیش از نیاز نخواهد شد. حسن دیگر این شیرها عدم نیاز به شیر کشویی مجزا برای مدار است و خود به‌تنهایی کافی است.

عیب این شیرها عدم دقت بالای آنهاست.برای مثال تغییر وضعیت از ۴۰٪به۵۰٪ (با تغییر۱۰٪) موجب تغییر ۴۰٪ ظرفیت عبوری از شیر می‌شود.

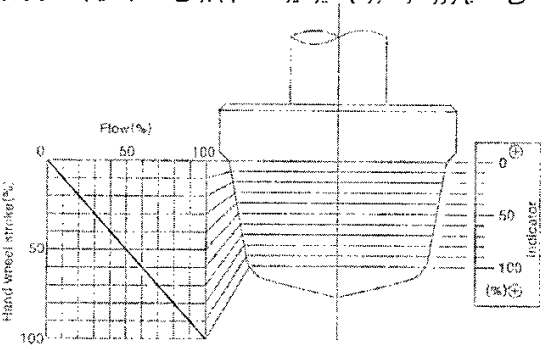
شیرهای بالانس دستی

شیرهای بالانس دستی توسط اپراتور و براساس جریان مورد نیاز سیستم گردشی درΔP سیستم تنظیم می‌شوند. شکل ۴-۲۶یک شیر بالانس با تنظیم دستی ساخت سامیانگ را نشان می‌دهد.



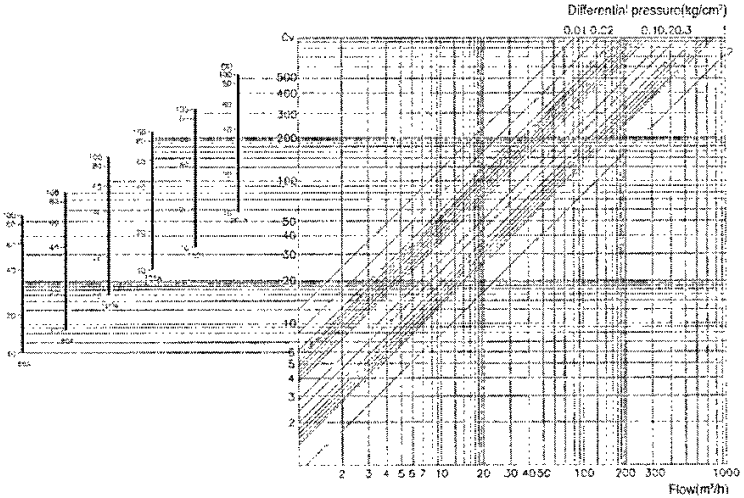
شکل ۴-۲۶: شیر بالانس دستی ساخت *SAMYANG*

روی بدنه شیر یک شاخص وجود دارد که از ۰-۱۰۰ درجه‌بندی شده و نشانگر میزان باز بودن شیر است. همچنین در بالای فلنج ورود و خروج شیر نیز اتصالی برای نصب گیج فشار وجود دارد.



شکل ۴-۲۷: تغییر جریان در شیر دستی

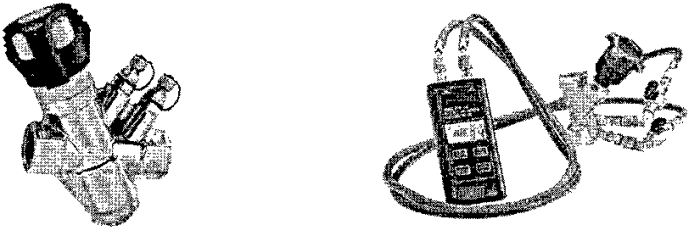
شیرهای بالانس دستی در کارخانه سازنده بر اساسΔP و میزان باز بودن شیر در سایزهای مختلف مورد تست قرار می‌گیرند و بر این اساس یک نمودار برای جریان‌های مختلف آنها ارائه می‌شود.



شکل ۴-۲۸: نمودار عملکرد شیر دستی ساخت *SAMYANG*

به کمک این جدول می‌توان با تقاطع دادن ΔP سیستم(خطوط مایل) و با میزان باز بودن شیر در هر سایز(خطوط عمودی سمت چپ) از محور افقی پایین جدول جریان عبوری از شیر را محاسبه نمود. حال با تنظیم شیر براساس جریان مورد نیاز شیر اجازه عبور جریان بیش از حد را نخواهد داد و سیستم گردشی بالانس خواهد شد.

نوع دیگر شیرهای بالانس دستی مطابق شکل۴-۲۹ است. این شیرها نیز مجهز به دو اتصال هستند. برای کنترل ΔP شیر یک کنترل دیجیتال وجود دارد که با اتصال به شیر جریان شیر را براساس ΔP نشان می‌دهد.[۱]



شکل ۴-۲۹: شیر بالانس دستی به همراه *Electronic pressure transducers*

شیرهای دستی قیمت نسبتاً مناسبی دارند و پس از تنظیم می‌تواند برای مدت طولانی بدون نیاز به هزینه نگهداری بالا سیستم را بالانس نگه دارد. از همین رو شیرهای دستی پر مصرف‌ترین نوع شیرهای بالانس هستند. اما اشکال آنها آنجایی است که فشار سیستم تغییر کند. در زمانی که به دلیل تغییر منحنی سیستم و تغییر نقطه عملکرد پمپ (پمپ‌های دور ثابت) فشار مدار گردشی تغییر می‌کند از آنجاییکه شیر برای ΔP خاصی تنظیم شده است با تغییر ΔP عملاً شیر از تنظیم خارج می‌شود. این مساله به خصوص در ساختمان‌های بزرگ بسیار حائز اهمیت است.

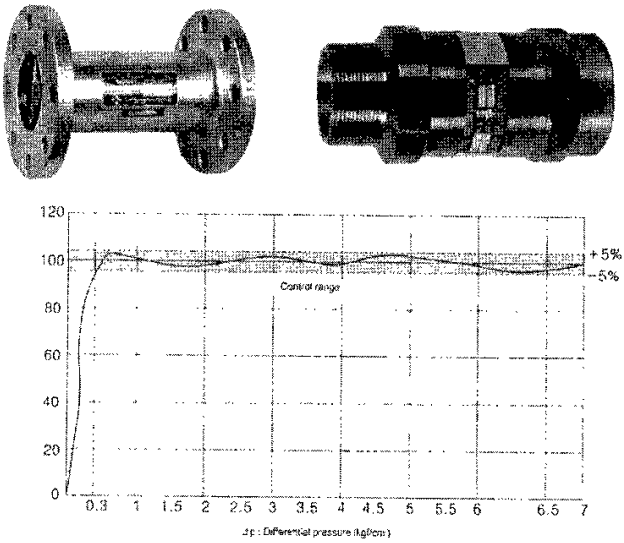
---

[۱] فیلم آموزشی شماره۴-۱ را ببینید

شیرهای بالانس جریان ثابت (مستقل از فشار)

شیرهای بالانس جریان ثابت در سیستم‌های مجهز به شیرهای بالانس دستی کاربرد دارند. در این سیستم‌ها با بسته شده شیرهای ترموستاتیک نقطه عملکرد پمپ به سمت چپ حرکت کرده فشار پمپ بالا می‌رود. بدین ترتیب با تغییر فشار پمپ، مجدداً بالانس سیستم بر هم می‌خورد. در این شرایط می‌توان با نصب شیرهای جریان ثابت از گذر جریان بیش از نیاز جلوگیری نمود.

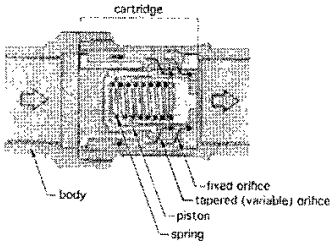
شکل و نمودار زیر دو نوع شیر جریان ثابت ساخت شرکت SAMYANG را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۳۰: شیر بالانس جریان ثابت و منحنی عملکرد آن ساخت *SAMYANG*

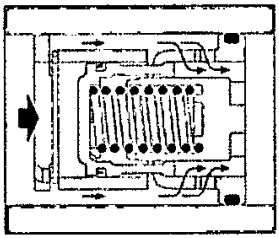
همانطور که از نمودار عملکرد شیر مشخص است با افزایش ΔP تا $0/3 kgf/cm2$ جریان عبوری از شیر به ۱۰۰٪ می‌رسد. اما در ΔPهای بالاتر(تا $7 kgf/cm2$) شیر اجازه عبور جریان بیشتر را نداده و عملاً منجر به بالانس سیستم می‌گردد.

طریقه عملکرد این شیرها بسیار ساده است. در داخل شیر یک کارتریج قراردارد که متشکل از سیلندر، پیستون، فنر و اریفیس‌های ثابت و متحرک است.



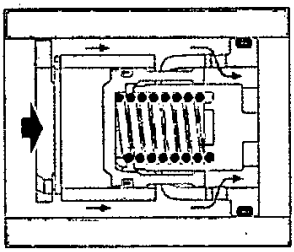
شکل ۴-۳۱: شماتیک اجزاء کارتریج شیربالانس جریان ثابت

زمانی کهΔP پایین است (پایین‌تر ازΔP کالیبره شده توسط سازنده) جریان می‌تواند به سادگی از اریفیس‌های ثابت و متحرک عبور کند.



شکل۴-۳۲: شماتیک جریان در شیربالانس جریان ثابت

حال با افزایش فشار فنر فشرده می‌شود و ذره ذره مسیر عبور جریان از اریفیس متحرک کاهش می‌یابد. این عمل تا نقطه نهایت فشار طراحی شده شیر ادامه می‌یابد. (برای شیر شکل۴-۳۰ معادل $7 kgf/cm2$ است)



شکل ۴-۳۳: شماتیک جریان در شیربالانس جریان ثابت

از آنجاییکه جریان در رنج وسیعی از فشار تقریباً برابر است به این نوع از شیرهای بالانس بعضاً شیرهای بالانس مستقل از فشار[1](PIBV) نیز اطلاق می‌شود.

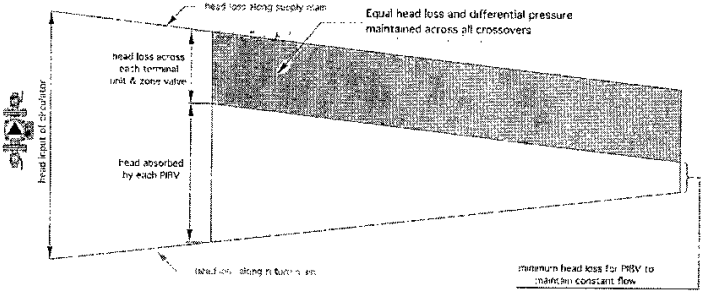
انتخاب سایز شیرهای PIBV براساس جریان مورد نیاز بر اساسΔP شیر صورت می‌گیرد. برای مثال جدول زیرحداقل و حداکثر جریان شیرهای بالانس جریان ثابت ساخت سامیانگ را نشان می‌دهد.

Size	L	Weight(kg)	Differential pressure range (kgf/cm²)	Flow (LPM)
50(2")	165	10	0.3~7	59~220
65(2½")	205	12		100~370
80(3")	225	13		150~550
100(4")	290	16.5		235~840
125(5")	335	26		368~1400
150(6")	335	37		530~2000
200(8")	450	49		940~3500

شکل ۴-۳۴: جدول جریان عبوری از شیر بالانس جریان ثابت ساخت سامیانگ

نصب این شیرها در سیستم برگشت مستقیم به دلیل داشتن فنر از پیش تنظیم شده سبب جذب فشار مازاد در سیستم می‌شود و اتوماتیک‌وار گذر جریان از سیستم را بالانس می‌کند.

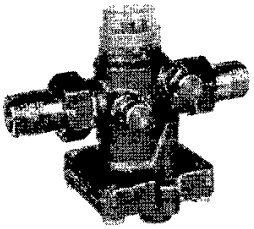
1- Pressure Independent Balancing Valve



شکل ۴-۳۵: جذب هد توسط شیر بالانس *PIBV*

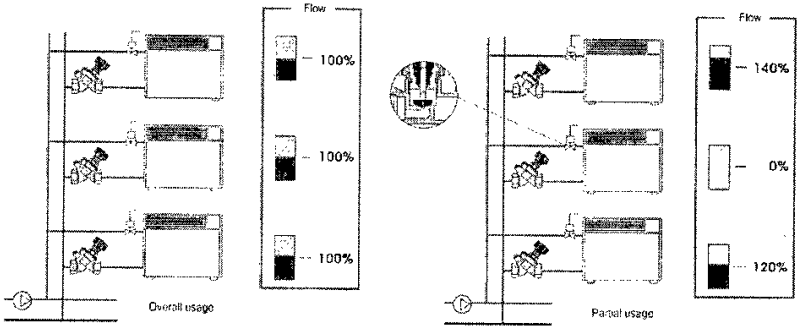
شیرهای بالانس خانگی

این شیرها عملکردی مشابه شیرهای جریان ثابت دارند با این تفاوت که در سایزهای کوچک‌تر و ΔPهای کوچکتر($0/3-0/8 kgf/cm2$)ساخته می‌شوند. این شیرها کوچک بوده و به سادگی نصب می‌شوند. همچنین قیمت مناسبی دارند و می‌توان برای هر مدار گردشی در ساختمان از آنها استفاده کرد. بدین ترتیب جریان مدارها به سادگی در ساختمان بالانس خواهد شد.

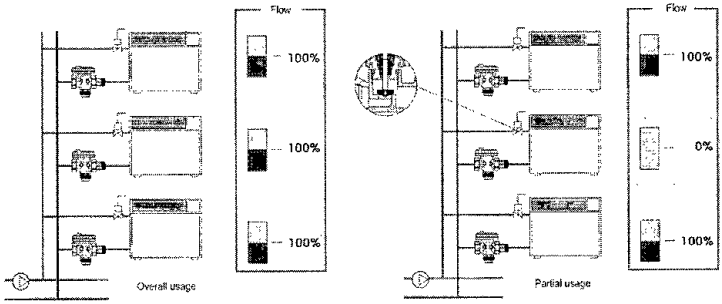


شکل ۴-۳۶: شیر بالانس خانگی ساخت *SAMYANG*

حسن این شیرها نسبت به شیرهای دستی در آنست که مستقل از فشار هستند و چنانچه جریان از یکی از مدارهای گردشی قطع شود و تغییر کند بر خلاف شیرهای دستی که با تغییر عملکردشان تغییر می‌کند همچنان جریان عبوری از خود را ثابت نگه می‌دارند.



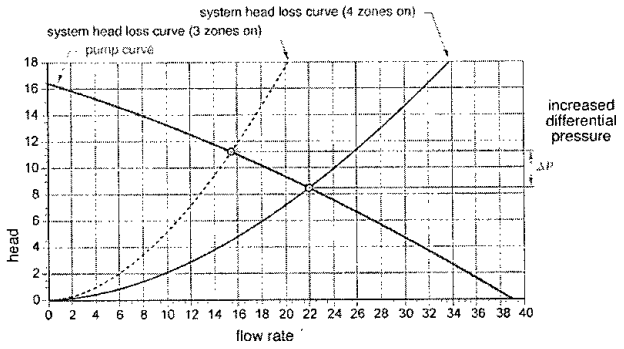
شکل ۴-۳۷: به هم خوردن بالانس با تغییر هد در شیر بالانس دستی



شکل ۴-۳۸: ثابت ماندن بالانس سیستم با شیرهای بالانس خانگی

پمپ‌های گردشی دور متغیر

در سیستم‌های گردشی تغییر جریان مورد نیاز سیستم سبب تغییر منحنی سیستم می‌شود. بدین ترتیب نقطه عملکرد پمپ دچار تغییر شده و به سمت راست و یا چپ حرکت می‌کند. از آنجاییکه پمپ گردشی براساس ماکزیمم انرژی مورد نیاز ساختمان محاسبه می‌شود تا در بار کامل توان تامین انرژی را داشته باشد با کاهش جریان در بار کم نقطه عملکرد به سمت چپ رفته و سبب افزایش هد می‌شود. نمودار شکل ۴-۳۹ کاهش جریان مورد نیاز یک سیستم ۴ داره را با بسته شدن یک مدار و عملکرد با سه مدار و در نتیجه تغییر نقطه عملکرد پمپ را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۳۹: افزایش هد پمپ با کاهش جریان

حال چنانچه بخواهیم تغییری در هد ایجاد نشود و کاهش جریان منجر به افزایش هد نشود بهترین راه‌حل تغییر دور پمپ‌های گردشی است.

تغییر دور پمپ‌های سیرکولاسیون به چند شکل قابل انجام است.

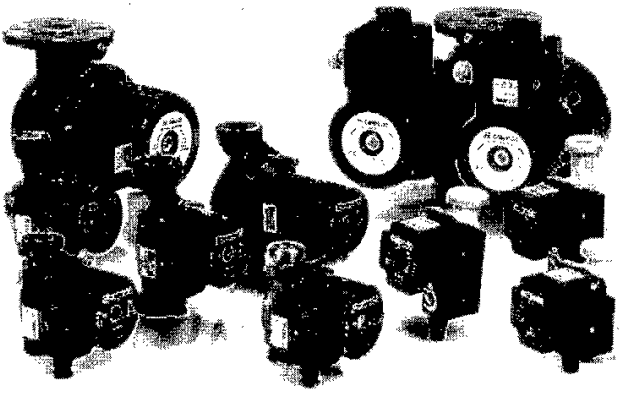
۱ـ استفاده از پمپ‌های چند دور (۲ و یا ۳ دور)

۲ـ استفاده از سیستم کنترل فرکانس براساس اختلاف فشار

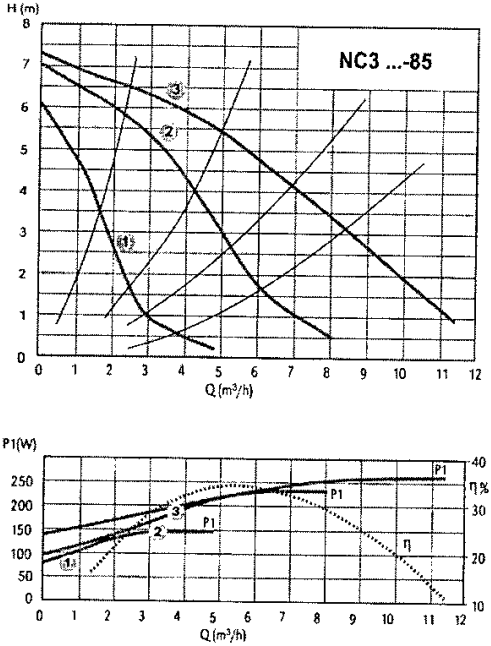
۳ـ استفاده از سیستم کنترل فرکانس براساس اختلاف دما

پمپ‌های چند دور

در این نوع از پمپ‌ها می‌توان به صورت دستی دور پمپ را در حالت۱و۲ در پمپ‌های ۲ دور و ۱و۲و۳ در پمپ‌های ۳ دور تنظیم کرد. در این پمپ‌ها Rpm پمپ و kw مصرفی و منحنی هد و دبی پمپ در دورهای مختلف توسط شرکت سازنده ارائه می‌شود.

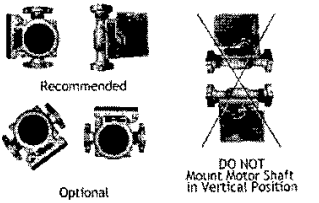


شکل ۴-۴۰:انواع پمپ‌های سیرکولاتور چند دور ساخت کالپدا



شکل ۴-۴۱: منحنی عملکرد یک پمپ ۳ دور کالپدا

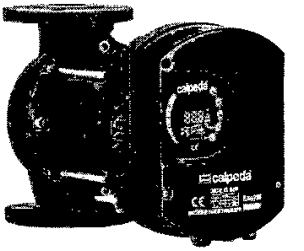
پمپ‌های چند دور سیرکولاتور از نوع روتور تر(Wet Rotor) هستند و برای نصب در هر دو حالت خطوط عمودی و افقی، موتور می‌بایست موازی زمین قرار گیرد.



شکل ۴-۴۲: شماتیک نصب پمپ روتور تر

براساس اختلاف فشار

در این حالت دور پمپ بنابر نیاز سیستم تغییر می‌کند و اختلاف فشار دو طرف پمپ عامل تعیین‌کننده دور پمپ است. این سیستم می‌تواند به صورت داخلی در خود پمپ نصب شده باشد.

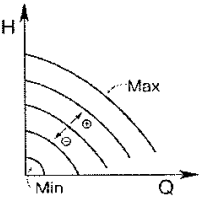


شکل ۴-۴۳: پمپ سیرکولاسیون دور متغیر ساخت کالپدا

در این نوع از پمپ‌ها با بسته شدن شیر مدارهای گردشی، پمپ باکاهش دور و ثابت نگه داشتن فشار اولاً حداقل هد مورد نیاز برای دورترین پخش‌کننده گرما را تامین می‌کند و ثانیاً با کاهش جریان به صرفه‌جویی در مصرف انرژی کمک شایانی می‌کنند.

پمپ‌های هوشمند گردشی به چند شکل قابل تنظیم هستند:

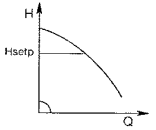
۱- دور ثابت: در این حالت می‌توان دور پمپ گردشی را انتخاب کرد. پس از ست کردن دور، پمپ با دور ثابت (همان دوری که تنظیم شده است) همانند پمپ‌های عادی کار می‌کند.



شکل ۴-۴۴: عملکرد پمپ دور متغیر براساس تغییر دور

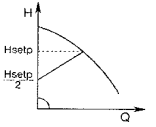
۲- فشار ثابت: همانطور که گفتیم افت سیستم گردشی دینامیک است پس چنانچه جریان کاهش یابد هد نیز کاهش می‌یابد. در مدارهای کوچک که هد پایینی دارند از تغییرات هد نسبت به

تغییرات دبی می‌توان صرف‌نظر کرد. در این حالت می‌توان پمپ را در فشار ثابت مورد نظر تنظیم کرد تا بدین ترتیب با تغییرات دبی هد تغییر نکند. این روش در ساختمان‌های کوچک با سیستم گرمایش رادیاتور مجهز به شیر ترموستاتیک بسیار سودمند است.



شکل ۴-۴۵: عملکرد پمپ دور متغیر براساس هد ثابت

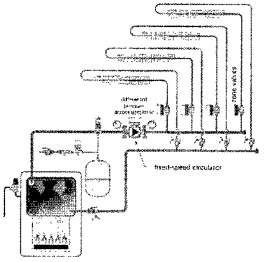
۳- فشار نسبی: در مدارهای با طول لوله بلند مثل سیستم‌های گرمایش از کف هد پمپ نسبتاً زیاد است و تغییرات هد نسبت به تغییرات دبی قابل توجه است. بنابراین با کاهش جریان هد نیز کاهش قابل توجهی می‌یابد. در پمپ‌های هوشمند می‌توان هد پمپ را در دو نقطه تنظیم کرد. بدین ترتیب در جریان پایین پمپ هد کمتر و در جریان بالاتر پمپ هد بالاتری ایجاد می‌کند و بدین ترتیب در عین حالی که جریان مورد نیاز سیستم را تامین می‌کند درمصرف انرژی نیز صرفه‌جویی قابل توجهی می‌کند.



شکل ۴-۴۶: عملکرد پمپ دور متغیر براساس هد نسبی

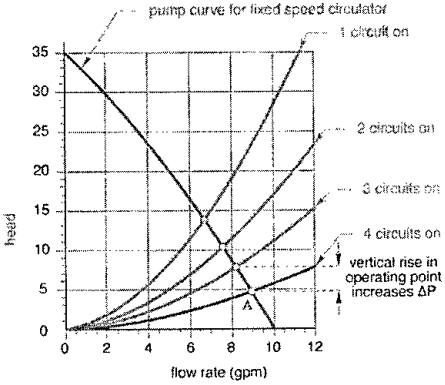
۴- اتوماتیک: در این حالت پمپ به صورت هوشمند دور پمپ را متناسب با نیاز سیستم تغییر می‌دهد. البته این تنظیم منوط به انتخاب صحیح پمپ است.

مثال: یک سیستم گردشی شامل ۴ مدار گردشی مجهز به شیر دوراهه را در نظر بگیرید.



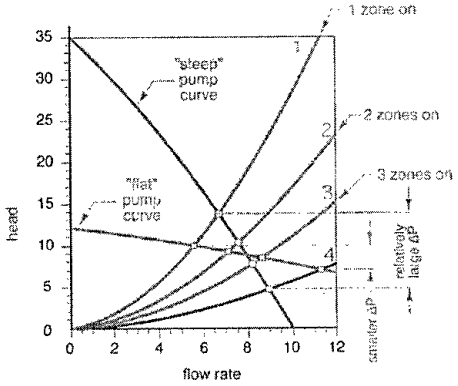
شکل ۴-۴۷: سیستم گردشی شامل ۴ مدار

حال چنانچه هر ۴ مدار باز باشد منحنی سیستم و پمپ مطابق منحنی زیر عمل می‌کند.(نقطه A در شکل۴-۴۸محل عملکرد پمپ است) حال چنانچه شیرهای ترموستاتیک هر یک از مدارهای گردشی را از سیستم خارج کند منحنی سیستم به یکی از چهارحالت زیر تغییر می‌کند.



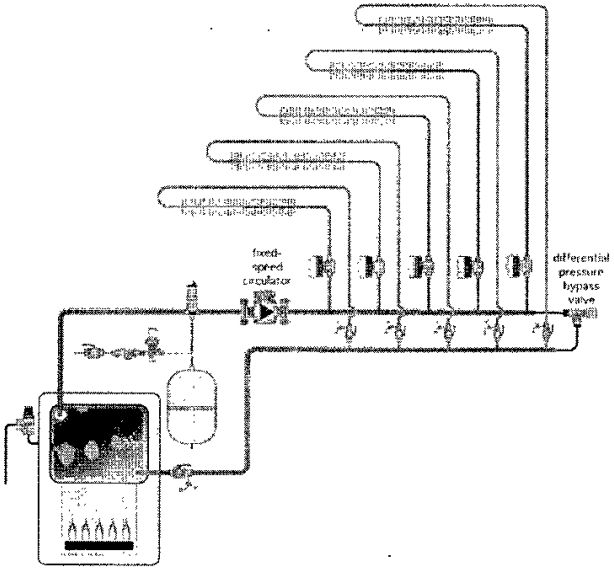
شکل ۴-۴۸: منحنی سیستم گردشی شامل ۴ مدار

بنابراین می‌توان دریافت چنانچه پمپ با دور ثابت عمل کند با تغییر منحنی سیستم نقطه عملکرد پمپ نیز تغییر کرده و به سمت چپ منحنی شیفت پیدا می‌کند. حال هرچه دور پمپ بیشتر باشد(۲۹۰۰دور) به واسطه تند بودن شیب منحنی عملکرد پمپ افزایش هد بیشتری را به‌وجود خواهد آمد.



شکل ۴-۴۹: تغییرΔP سیستم گردشی شامل ۴ مدار در پمپ با منحنی تخت و منحنی تیز

برای جلوگیری از افزایش بیش از حد فشار و آسیب به پمپ در پمپ‌های دور ثابت باید با نصب یک خط بای‌پس و اتصال آن به خط برگشت جلوی افزایش بیش از حد فشار را گرفت.



شکل ۴-۵۰: شماتیک نصب شیر بای‌پس در سیستم گردشی با پمپ دور ثابت

بر اساس اختلاف دما

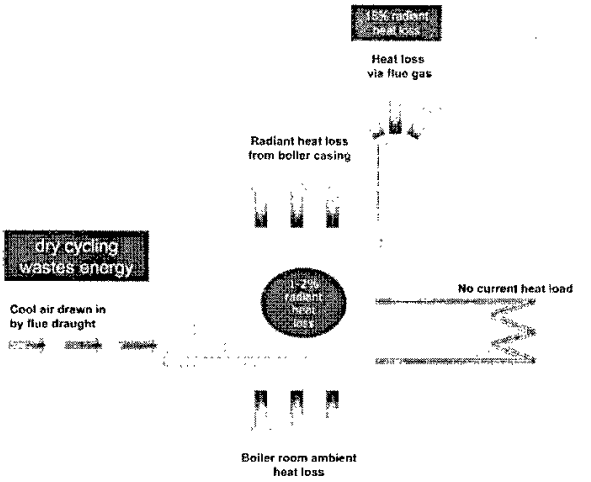
در این حالت دور پمپ براساس اختلاف دمای رفت و برگشت سیستم تغییر می‌کند. تمپرچرترانسمیتر دمای برگشت آب از سیستم را سنس کرده و با ارسال فرمان ۴-۲۰ میلی‌آمپر به کنترلر با افزایش اختلاف دما دور پمپ را افزایش داده و با کاهش آن دور پمپ را کاهش می‌دهد.

همانطور که پیش‌تر گفتیم بین انتقال انرژی و میزان جریان و اختلاف دما رابطه زیر بر قرار است.

$$GPM = \frac{BTU/h}{۵۰۰ \times \Delta T(^{\circ}F)}$$

$$\Delta T(^{\circ}F) = \frac{BTU/h}{۵۰۰ \times GPM}$$

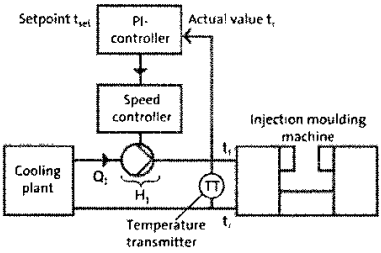
در سیستم‌های بزرگ که نوسان مصرف انرژی مورد نیاز زیاد است مانند بیمارستان‌ها و مراکز خرید و ساختمان‌های بزرگ برای حفظ اختلاف دمای رفت و برگشت (در گرمایش$۲۰^{o}f$ و در سرمایش$۱۰^{o}f$) می‌توان به کمک تغییر دور پمپ این اختلاف را ثابت نگه داشت. سیستم گرمایش و سرمایش با آب براساس ماکزیمم انرژی مورد نیاز ساختمان در بار کامل به علاوه یک ضریب اطمینان محاسبه و اجراء می‌گردد. بنابراین در سیستم دور ثابت در فصول کم بار پمپ با دور ثابت آب را به گردش در می‌آورد و در نتیجه اختلاف دمای آب رفت و برگشت آب به شدت کاهش می‌یابد. اختلاف ناچیز دمای برگشت سبب می‌شود دمای برگشت از دمای حداقل ترموستات کمتر باشد. به این اتفاق در اصطلاح چرخه خشک (DRY CYCLE) می‌گویند. چرخه خشک سبب کاهش راندمان بویلر و اتلاف انرژی می‌شود.

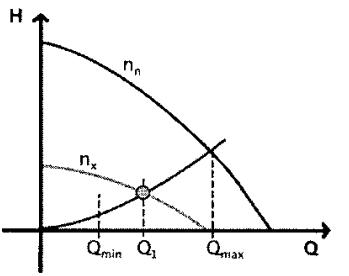


شکل ۴-۵۱: شماتیک اتلاف انرژی در چرخه خشک بویلر

برای مثال در یک سیستم سرمایش دمای خروجی از چیلر ۴۴°F و دمای برگشت ۵۴°F است و در نتیجه دبی برابر ۲/۴ gpm به ازاء هر تن تبرید است.

حال چنانچه نیاز تبرید یک مجتمع در ظهر تابستان ۱۰۰ تن تبرید معادل ۲۴۰ gpm و شب هنگام۷۵ تن تبرید معادل ۱۸۰ gpm باشد در سیستم دور ثابت در طول شب اختلاف دما ۷/۵ °F خواهد شد حال می‌توان با نصب یک سیستم دور متغییر اختلاف دمای رفت و برگشت را ثابت نگه داشت.





شکل ۴-۵۲: شماتیک پمپ سیرکولاسیون دور متغیر براساس اختلاف دما

محل نصب پمپ در مدار

در ساختمان‌های بزرگ پمپ باید در مسیر رفت نصب شود و اصولاً پمپ برای ارسال سیال است نه مکش سیال اما در تاسیسات ساختمان‌های کوچک آن را در مسیر برگشت نصب می‌کنند زیرا پایین‌تر بودن دمای آب برگشتی به دیگ نسبت به دمای آب خروجی از آن باعث می‌شود که طول عمر پمپ و الکتروموتور افزایش یابد، در هر دور پمپ جرم آب بیشتری را ارسال کند و احتمال کاویتاسیون در آنجا کمتر باشد. البته یکی از مهمترین معایب نصب پمپ در مسیر برگشت آب، هوا گرفتن سیستم می‌باشد. در شکل ۴-۵۳ بهترین انتخاب برای پمپ‌های سیرکوله در شرایط مختلف نشان داده شده است.

Scores:
- ▲ Best choice
- ◄ Good choice
- ▼ Least good choice
- × Not applicable

Pipework: To the pump	Pipework: From the pump		A. In-line close-coupled (horizontal or vertical mounting)	B. End-suction close- coupled (horizontal or vertical mounting)	C. End-suction long-coupled (only horizontal mounting)
Along floor	Along floor		▲ Best choice	◄ Good choice	◄ Good choice
	To ground		▲ Best choice	◄ Good choice	◄ Good choice
	To ceiling		◄ Good choice	▲ Best choice	▲ Best choice
From ground	Along floor		◄ Good choice	▲ Best choice	▼ Least good choice
	To ground		◄ Good choice	▲ Best choice	▼ Least good choice
	To ceiling		◄ Good choice	▲ Best choice	▲ Best choice
From ceiling	Along floor		▲ Best choice	▼ Least good choice	▼ Least good choice
	To ground		▲ Best choice	◄ Good choice	◄ Good choice
	To ceiling		◄ Good choice	▲ Best choice	▲ Best choice
Wall-mounted	Wall-mounted		▲ Best choice	◄ Good choice	× Not applicable

شکل ۴-۵۳: شماتیک نصب پمپ در مدار

برای مثال این مقدار در فشار 0barg به شرح زیر است:
آنتالپی آب اشباع در دمای ۱۰۰ °C(۲۱۲°F)معادل:

$$h_f = (۱۸۰\ ^{Btu}/_{lb})\ ٤۱۸\ ^{Kj}/_{Kg}$$

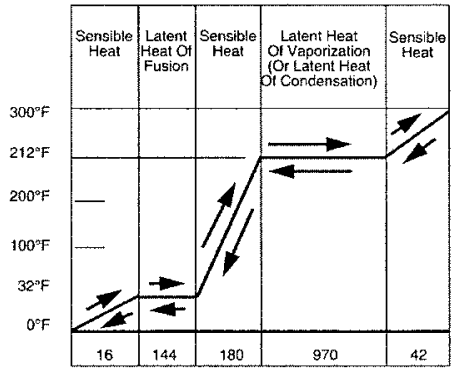
گرمای‌نهان بخار در ۱۰۰ °C(۲۱۲°F) معادل:

$$h_{fg} = (۹۷۰\ ^{Btu}/_{lb})\ ۲۲٥۷\ ^{Kj}/_{Kg}$$

آنتالپی بخار اشباع دردمای ۱۰۰ °C(۲۱۲°F)معادل:

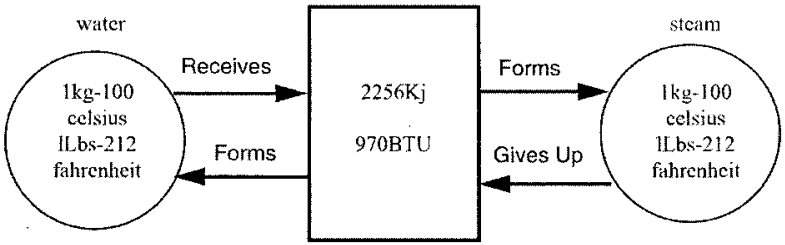
$$h_g = (۱۱٥۰\ ^{Btu}/_{lb})\ ۲۷۷٥\ ^{Kj}/_{Kg}$$

همانطور که در فصل اصول مکانیکی گفتیم ظرفیت حرارتی آب $(۱\ ^{Btu}/_{lb\cdot°F})$ ۴/۱۹ $^{Kj}/_{Kg\cdot°C}$است بنابراین برای گرمایش۱Lbs (۱ kg) آب۰°C (۳۲ °F) به ۱Lbs (۱kg) آب ۱۰۰°C(۲۱۲°F)به ۱۸۰Btu(۴۱۹Kj) انرژی نیاز است.



شکل۵-۲: سیکل آب

گرمای‌نهان تبخیر برای آنکه بدون تغییر دما آب ۱۰۰ °C(۲۱۲°F) به بخار تبدیل شود برابر $(۹۷۰\ ^{Btu}/_{lb})$ ۲۲٥۷ $^{Kj}/_{Kg}$است.



شکل۵-۳: فرآیندهای گرماگیر و گرماده آب

همانطور که مشخص است گرمای‌نهان آب مقدار قابل توجهی است. از این رواست که بخار می‌تواند انرژی قابل ملاحظه‌ای را حمل کند. که این انرژی می‌تواند با افزایش فشار بیشتر نیز شود.(قانون گازها)

همچنین بخار امتیازات دیگری نیز دارد که از آن‌جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

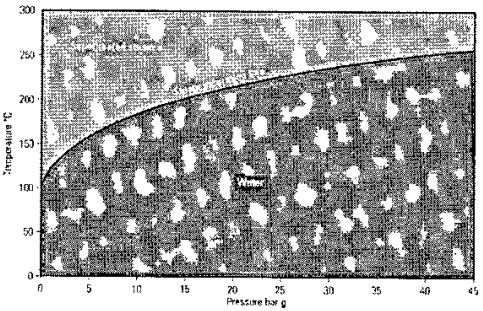
۱. استریل بوده و غیرسمی است
۲. در صورت نشت محیط را آلوده نمی‌کند
۳. خواص انتقال حرارت مناسبی دارد
۴. آب که برای تولید آن لازم است تقریباً در همه‌جا وجود دارد

این امتیازات باعث کاربرد فراوان بخار در صنایع مختلف است.

انواع بخار

بخار اشباع[1] و سوپرهیت[2] (فوق گرم)

همانطور که گفتیم آب در0barg و در۱۰۰°C(۲۱۲°F) به بخار تبدیل می‌شود.(در این فشار دمای آب اشباع است) این دما با افزایش فشار افزایش یافته و برای مثال در10barg به۱۸۴°C(۳۶۳°F) می‌رسد. به رابطه بین دمای اشباع و فشار به اختصار منحنی بخار اشباع می‌گویند.



شکل ۵-۴: منحنی بخار اشباع

آب و بخار در هر فشاری می‌تواند در شرایط دمایی اشباع وجود داشته باشد. حال چنانچه در هر فشار بخاری با دمایی بالاتر از منحنی بخار اشباع وجود داشته باشد به آن اصطلاحاً بخار سوپرهیت یا فوق گرم اطلاق می‌شود. بنابراین در دمای سوپرهیت به هیچ عنوان آب وجود ندارد و صرفاً بخار فوق گرم وجود دارد. به همین دلیل سرعت حرکت بخار سوپرهیت را می‌توان بالاتر از بخار اشباع در نظر گرفت.

برای مثال بخار۱۰barg با دمای ۲۰۴°C، بخار سوپرهیت با درجه ۲۰ است.(دمای بخار اشباع در ۱۰barg، ۱۸۴°C است)

جداول بخار

جدول بخار اشباع

جدول بخار اشباع(۵-۱) یک ابزار ضروری برای تمام مهندسان فعال در زمینه بخار است که به‌طور

1- Saturated Steam
2- Superheated Steam

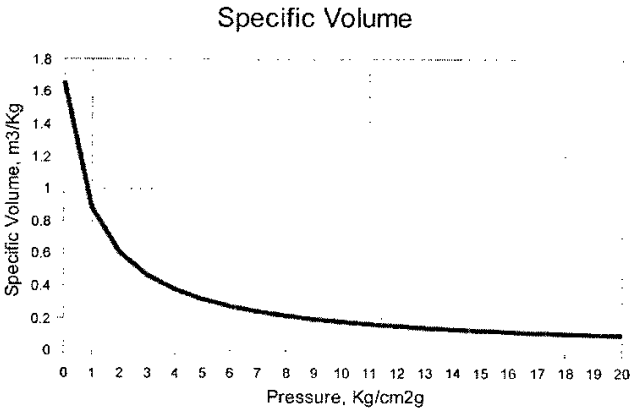
معمول از آن برای تعیین درجه حرارت بخار اشباع از فشار بخار اشباع و یا بلعکس آن استفاده می‌شود. همچنین این جدول شامل ستون‌های دیگری نظیرآنتالپی آب اشباع h_f، گرمای‌نهان تبخیر h_{fg}، آنتالپی بخار اشباع h_g و حجم مخصوص بخار اشباع نیز است.

جدول۵-۱: جدول بخار اشباع

Pressure bar	Pressure kPa	Temperature °C	Specific enthalpy Water (h_f) kJ/kg	Specific enthalpy Evaporation (h_{fg}) kJ/kg	Specific enthalpy Steam (h_g) kJ/kg	Specific volume steam m³/kg
absolute						
0.30	30.0	69.10	289.23	2 336.1	2 625.3	5.229
0.50	50.0	81.33	340.49	2 305.4	2 645.9	3.240
0.75	75.0	91.78	384.39	2 278.6	2 663.0	2.217
0.95	95.0	98.20	411.43	2 261.8	2 673.2	1.777
gauge						
0	0	100.00	419.04	2 257.0	2 676.0	1.673
0.10	10.0	102.66	430.2	2 250.2	2 680.2	1.533
0.20	20.0	105.10	440.8	2 243.4	2 684.2	1.414
0.30	30.0	107.39	450.4	2 237.2	2 687.6	1.312
0.40	40.0	109.55	459.7	2 231.3	2 691.0	1.225
0.50	50.0	111.61	468.3	2 225.6	2 693.9	1.149
0.60	60.0	113.56	476.4	2 220.4	2 696.8	1.088
0.70	70.0	115.40	484.1	2 215.4	2 699.5	1.024
0.80	80.0	117.14	491.6	2 210.5	2 702.1	0.971
0.90	90.0	118.80	498.9	2 205.6	2 704.5	0.923
1.00	100.0	120.42	505.6	2 201.1	2 706.7	0.881
1.10	110.0	121.96	512.2	2 197.0	2 709.2	0.841
1.20	120.0	123.46	518.7	2 192.8	2 711.5	0.806
1.30	130.0	124.90	524.6	2 188.7	2 713.3	0.773
1.40	140.0	126.28	530.5	2 184.8	2 715.3	0.743
1.50	150.0	127.62	536.1	2 181.0	2 717.1	0.714
1.60	160.0	128.89	541.6	2 177.3	2 718.9	0.689
1.70	170.0	130.13	547.1	2 173.7	2 720.8	0.665
1.80	180.0	131.37	552.3	2 170.1	2 722.4	0.643
1.90	190.0	132.54	557.3	2 166.7	2 724.0	0.622
2.00	200.0	133.69	562.2	2 163.3	2 725.5	0.603
2.20	220.0	135.88	571.7	2 156.9	2 728.6	0.568
2.40	240.0	138.01	580.7	2 150.7	2 731.4	0.536
2.60	260.0	140.00	589.2	2 144.7	2 733.9	0.509
2.80	280.0	141.92	597.4	2 139.0	2 736.4	0.483
3.00	300.0	143.75	605.3	2 133.4	2 738.7	0.461
3.20	320.0	145.46	612.9	2 128.1	2 741.0	0.440
3.40	340.0	147.20	620.0	2 122.9	2 742.9	0.422
3.60	360.0	148.84	627.1	2 117.8	2 744.9	0.405
3.80	380.0	150.44	634.0	2 112.9	2 746.9	0.389
4.00	400.0	151.96	640.7	2 108.1	2 748.8	0.374
4.50	450.0	155.55	656.3	2 096.7	2 753.0	0.342
5.00	500.0	158.92	670.9	2 086.0	2 756.9	0.315
5.50	550.0	162.08	684.6	2 075.7	2 760.3	0.292
6.00	600.0	165.04	697.5	2 066.0	2 763.5	0.272
6.50	650.0	167.83	709.7	2 056.8	2 766.5	0.255
7.00	700.0	170.50	721.4	2 047.7	2 769.1	0.240
7.50	750.0	173.02	732.5	2 039.2	2 771.7	0.227
8.00	800.0	175.43	743.1	2 030.9	2 774.0	0.215
8.50	850.0	177.75	753.3	2 022.9	2 776.2	0.204
9.00	900.0	179.97	763.0	2 015.1	2 778.1	0.194
9.50	950.0	182.10	772.5	2 007.5	2 780.0	0.185
10.00	1 000.0	184.13	781.6	2 000.1	2 781.7	0.177
10.50	1 050.0	186.05	790.1	1 993.0	2 783.3	0.171
11.00	1 100.0	188.02	798.8	1 986.0	2 784.8	0.163
11.50	1 150.0	189.82	807.1	1 979.1	2 786.3	0.157
12.00	1 200.0	191.68	815.1	1 972.5	2 787.8	0.151
12.50	1 250.0	193.43	822.9	1 965.4	2 788.8	0.148
13.00	1 300.0	195.10	830.4	1 959.6	2 790.0	0.141
14.00	1 400.0	198.35	845.1	1 947.1	2 792.2	0.132
15.00	1 500.0	201.45	859.0	1 935.0	2 794.0	0.124
16.00	1 600.0	204.38	872.3	1 923.4	2 795.7	0.117
17.00	1 700.0	207.17	885.0	1 912.1	2 797.1	0.110
18.00	1 800.0	209.90	897.2	1 901.3	2 798.5	0.105
19.00	1 900.0	212.47	909.0	1 890.5	2 799.5	0.100
20.00	2 000.0	214.96	920.3	1 880.2	2 800.5	0.099 4
21.00	2 100.0	217.35	931.3	1 870.1	2 801.4	0.090 6
22.00	2 200.0	219.65	941.9	1 860.1	2 802.0	0 086 8
23.00	2 300.0	221.85	952.2	1 850.4	2 802.6	0.083 2
24.00	2 400.0	224.02	962.2	1 840.9	2 803.1	0.079 7
25.00	2 500.0	226.12	972.1	1 831.4	2 803.5	0.076 8
26.00	2 600.0	228.15	981.6	1 822.2	2 803.8	0.074 0
27.00	2 700.0	230.14	990.7	1 813.3	2 804.0	0.071 4

حجم بخار اشباع

همانطور که در جدول۵-۱ مشخص است با افزایش فشار بخار از حجم آن کاسته می‌شود. این تغییر حجم از فشارbarg ۰ تا ۷barg دارای شیب تندتری است و بعد از آن با شیب کندتری کاهش می‌یابد.



شکل۵-۵: منحنی حجم بخار آب در فشارهای مختلف

از این رواست که فشار اکثر دیگ‌های بخار صنعتی را روی7barg تنظیم می‌کنند.

جدول بخار سوپرهیت

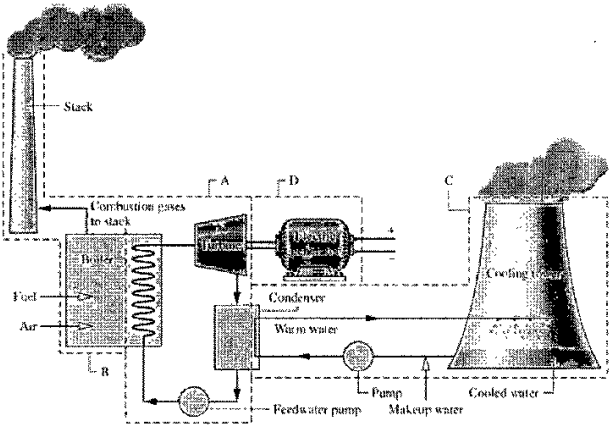
مقادیر مربوط به بخار سوپرهیت را نمی‌توان از جداول بخار اشباع بدست آورد. از ظرفی بخار سوپرهیت در هر فشاری می‌تواند در رنج وسیعی وجود داشته باشد. بنابراین ترکیب فشار و دما آنقدر زیاد است که نمی‌توان همه آنها را در یک جدول جمع آوری کرد. درنتیجه تعداد زیادی جداول بخار سوپرهیت نسبت به فشار و دماهای مختلف وجود دارد. البته امروزه به کمک نرم افزارهای بسیار ساده و کم حجم این مهم به سادگی قابل محاسبه است.

بخار سوپرهیت اصولاً در واحدهای نیروگاهی تولید برق و به‌عنوان عامل محرک توربین‌ها استفاده می‌شود. با مشاهده چرخه رانکین ثابت می‌شود که برای حرکت دادن توربین‌ها بخار سوپرهیت دارای راندمان حرارتی بالاتری نسبت به بخار اشباع می‌باشد.

چرخه رانکین[1]

چرخه‌ای است که در آن حرارت به کار تبدیل می‌شود این چرخه بالغ بر۹۰ درصد برق در دنیا را تامین میکند. نیروگاه‌های حرارتی، خورشیدی، بیوماس، هسته‌ای و ... از جمله نیروگاه‌هایی هستند که بر پایهٔ این چرخه عمل می‌کنند. این چرخه به افتخار پروفسور "ویلیام جان مکورن رانکین" نامگذاری شده است. در کل چرخه رانکین یک چرخه ایده آل برای نیروگاه حرارتی با قدرت بخار است. در اصول ترمودینامیکی این چرخه، نمودارهای h-s و T-v و p-v بررسی می‌شوند.

1- Rankine Cycle



شکل۵-۶: سیکل عملکرد نیروگاه حرارتی

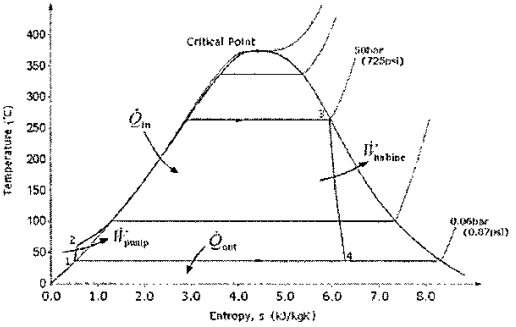
در چرخه رانکین مراحل زیر طی می‌شود:

۱- آب از کندانسور در فشار پایین به بویلر پمپ می‌شود که این بویلر در فشار کاری بالایی کار می‌کند. این مرحله برگشت‌پذیر آدیاباتیک می‌باشد.

۲- در این مرحله آب به بخار تبدیل می‌شود. این پروسه در بویلر و در فشار ثابت صورت می‌پذیرد. گرمای داده شده به بویلر، این مرحله را امکان‌پذیر می‌سازد.

۳- مرحله انبساط بخار در توربین بخار که آدیاباتیک برگشت‌پذیر می‌باشد.

۴- در این مرحله بخار در فشار به آب تبدیل می‌شود. این پروسه در کندانسور صورت می‌گیرد.



شکل۵-۷: چرخه رانکین

بخار سوپرهیت دارای مزایای زیادی است :

بخار سوپرهیت باعث ساییدگی توربین نمی‌شود اما بخار اشباع در توربین باعث تولید قطرات آب و سائیدگی پره‌های توربین می‌شود.

خطوط سوپرهیت با سرعت‌های بالاتر می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. این بدین معنا است که خطوط توزیع کوچک‌تری می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. (افت فشار خیلی زیاد نیست)

برای واحدهای ۲۴ ساعته، بخار سوپرهیت به‌معنای عدم وجود کندانس در خط است لذا تله‌های بخار فقط در شروع راه‌اندازی مورد نیاز است.

استفاده از بخار سوپرهیت دارای معایب زیر است :

- اگرچه بخار سوپرهیت دارای انرژی گرمایی بالاتری است اما این انرژی به ۳ صورت است: آنتالپی آب، آنتالپی تبخیر (گرمای‌نهان) و آنتالپی سوپرهیت. توده اصلی در انتالپی تبخیر وجود دارد و این انرژی در بخار سوپرهیت سهم کمتری دارد .
- وقتی از بخار سوپرهیت به عنوان ماده انتقال حرارت استفاده می‌شود ضریب انتقال حرارت پایین و متغیر است و تعیین دقیق آن بسیار مشکل است. این امر کنترل دقیق را در تجهیزات انتقال حرارت مشکل می‌سازد و در این صورت به مبدل‌های حرارتی بسیار بزرگ و گران قیمت نیاز است .
- وقتی بخار سوپرهیت تا دمای اشباع سرد شود ضریب انتقال حرارت بصورت شگرف افزایش می‌یابد و دما در نقطه‌ای که بخار به مایع تبدیل می‌شود ثابت باقی می‌ماند. این امر موجب کنترل دقیق تجهیزات انتقال حرارت می‌شود .
- وجود ضریب انتقال حرارت بالا در بخار اشباع باعث استفاده نمودن از مبدل‌های حرارتی کوچک و ارزان قیمت در مقایسه با بخار سوپرهیت می‌شود .
- برخی فرآیندها (مانند ستون‌های تقطیر) وقتی بخار سوپرهیت را استفاده می‌کنند دارای راندمان کمتری هستند .
- دمای بالاتر بخار سوپرهیت ممکن است باعث افزایش مقدار مصرف آن شود و بنابراین تجهیزات گران قیمت‌تری مورد نیاز است .
- دمای بالاتر بخار سوپرهیت ممکن است به تجهیزات حساس آسیب وارد کند.
- این معایب باعث می‌شود که بخار سوپرهیت برای کاربردهای حرارتی نامطلوب باشد. لذا باید بخار سوپرهیت را به بخار اشباع تبدیل نمود.

اساس دی‌سوپرهیت نمودن بخار

دی‌سوپرهیت نمودن فرآیندی است که بخار سوپرهیت به بخار اشباع تبدیل می‌شود و یا آنکه دمای سوپرهیت کاهش می‌یابد .

بیشتر دی‌سوپرهیترها برای برگشت دادن بخار سوپرهیت به بخار اشباع یا بخاری نزدیک به دمای بخار اشباع بکار می‌روند.(معمولا ۳ درجه سانتی‌گراد بیشتراز دمای اشباع) اصولاً دو نوع دی‌سوپرهیتر وجود دارد .

الف) نوع تماس غیر مستقیم: در این نوع دی‌سوپرهیترها ماده مورد استفاده برای خنک سازی بخار سوپرهیت در تماس مستقیم با بخار نیست. ممکن است از یک مایع یا گاز خنک‌تر برای این کار استفاده شود برای مثال هوای محیط. مثالی از این نوع دی‌سوپرهیتر مبدل‌های حرارتی پوسته‌لوله هستند. بخار دی‌سوپرهیت در یک قسمت مبدل و ماده خنک‌کننده در وجه دیگر آن عبورمی کند. با عبور نمودن بخار سوپرهیت از میان مبدل حرارتی، حرارت آن گرفته شده و به ماده خنک کن می‌رسد.

دمای دی‌سوپرهیت نمودن بخار را می‌توان با کنترل فشار بخار سوپرهیت ورودی یا میزان سیال خنک‌کننده کنترل نمود .کنترل فلوی بخار سوپرهیت برای این منظور بصورت عملی غیر ممکن است و

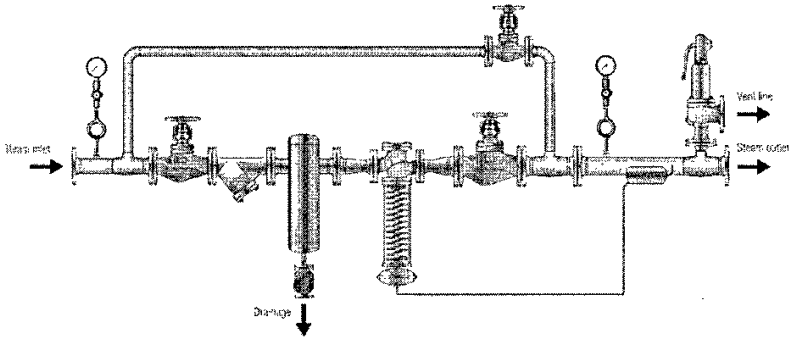
بیشتر سیستم‌ها برا اساس میزان فلوی سیال خنک‌کننده طراحی می‌شوند.

ب)نوع تماس مستقیم: در این نوع دی‌سوپرهیترها ماده واسط مورد استفاده برای خنک سازی بخار سوپرهیت با آن در تماس مستقیم قرار دارد. در بیشتر حالات ماده خنک کننده آب است و آب کندانس سیستم بخار یکی از بهترین گزینه‌ها است. در غیر این صورت آب مورد استفاده در دی‌سوپرهیتر باید مورد پیش تصفیه قرار گیرد. در این حالت مقدار مشخصی آب از طریق یک میکسر وارد بخار سوپرهیت می‌شود. آب با ورود به دی‌سوپرهیتر با جذب حرات از بخار سوپرهیت تبخیر می‌شود و در نتیجه دمای بخار سوپرهیت کاهش می‌یابد .

کنترل مقدار آب اضافه شده اغلب با استفاده از اندازه‌گیری دمای بخار خروجی از دی‌سوپرهیتر امکان پذیر است. دمای تنظیم شده بری بخار خروجی معمولاً بیشتراز ۳ درجه بیشتراز دمای بخار اشبا ع نیست.

بخار سوپرهیت با کاهش فشار

چنانچه بخار اشباع در فشار خاصی وجود داشته باشد مثلاً ۱۰barg و فشار آن توسط فشارشکن بخار به۲barg تقلیل پیدا کند. طبق قانون بقای انرژی، انرژی دوطرف فشارشکن برابر خواهد بود.



شکل۵-۸:شماتیک نصب فشارشکن بخار

حال اختلاف انرژی بخار با فشار بالاتر(۱۰barg) و بخار با فشار پایین‌تر (۲barg) موجب افزایش دمای بخار خروجی از فشارشکن با فشار پایین‌تر خواهد شد. بنابراین در خروجی فشارشکن بخار با فشار۲barg و با چند درجه سوپرهیت خواهیم داشت.

محاسبات:

بخاراشباع 10barg(145 psi)	بخاراشباع 2barg(29 psi)
781.4KJ/Kg=Hf(336BTU/Lbs)	562KJ/Kg=Hf(241.7BTU/Lbs)
1999.24KJ/Kg=Hfg(859.7BTU/Lbs)	2163KJ/Kg=Hfg(930.1BTU/Lbs)
2780.74KJ/Kg=Hg(1195.7BTU/Lbs)	2725KJ/Kg=Hg(1171.8BTU/Lbs)
0.177m3/kg=V(9.66ft3/Lbs)	0.6m3/kg=V(9.66ft3/Lbs)
184.1°C=T(363.4°F)	133.6°C =T(272.6°F)

اختلاف انرژی درbarg۱۰وbarg ۲برابر ۵۵/ ۷۴ KJ/Kg (۲۳/۹ BTU/Lbs)
با مراجعه به دیاگرام مولیر بخار سوپرهیت بـا دمـای°C ۱۵۹/۲(۳۱۸/۵F)خـواهیم داشـت. (°C ۲۵/۶ (۷۸°F)درجه سوپرهیت)

محاسبات فوق بر مبنای بخار ورودی ۱۰۰٪ خشک است. حال چنانچه بخار قبل از فشارشکن ۱۰۰٪ خشک نباشد و مقادیری آب در آن وجود داشته باشد. اختلاف انرژی ابتدا آب موجـود را تبـدیل بـه بخـار می‌کند و در نتیجه ضریب خشکی بخار را ارتقاء می‌دهد و در صورت وجـود مـازاد انـرژی پـس از تبـدیل بخار مرطوب به بخار ۱۰۰٪ خشک بخار را سوپرهیت می‌کند.

تمرین

مثال فوق را با فرض بخار وردی ۹۵٪ خشک محاسبه نمایید
آنتالپی بخار مرطوب در فشارbarg ۱۰ (۱۴۵psi)

۷۸۱/۴+۱۹۹۹/۲×۰/۹۵=۲۶۸۰/۶ KJ/Kg

عدد بدست آمده کمتر از آنتالپی بخار اشباع در فـشارbarg۲(۲۹psi)اسـت. بنـابراین بخـار سـوپرهیت نخواهد شد و صرفاً درجه خشکی آن ارتقا پیدا می‌کند.

۲۶۸۰/۶ KJ/Kg=(ضریب خشکی×(۲۱۶۳)+۵۶۲

ضریب خشکی= ۹۸%

در نتیجه ضریب خشکی بخار خروجی در فشار barg ۲ (psi ۲۹) معادل ۹۸٪ خواهد بود.

بخار فلش[1]

همانطور که گفتیم با افزایش فشار آنتالپی آب اشباع(hf) افزایش پیـدا مـی‌کنـد. حـال چنانچـه فـشار مذکور به یکباره از روی آب برداشته شود انرژی اضافی بـین آنتـالپی آب در فـشار بـالاتر وآنتـالپی آب در فشار پایین‌تر بخشی از آب را به بخار تبدیل می‌کند.

برای مثال شیر تخلیه بویلری با فـشارbar ۱۰ کـه آب را بـه فـشار اتمـسفریک (فـضای آزاد) تخلیـه می‌کند.

- hfدرbarg=۱۰(۳۳۶BTU/Lbs)۷۸۱/۴KJ/Kg
- hfدرbarg=۰(۱۸۰BTU/Lbs)۴۱۸/۹KJ/Kg

۷۸۱/۴-۴۱۸/۹=۳۶۲/۵ KJ/Kg

اختلاف hf در فشار barg۱۰و barg۰ انرژی مازاد خواهد بود.از تقسیم این مازاد بر hfg بخار در فـشار barg۰ می‌توان درصد بخار فلش ایجاد شده را محاسبه نمود.

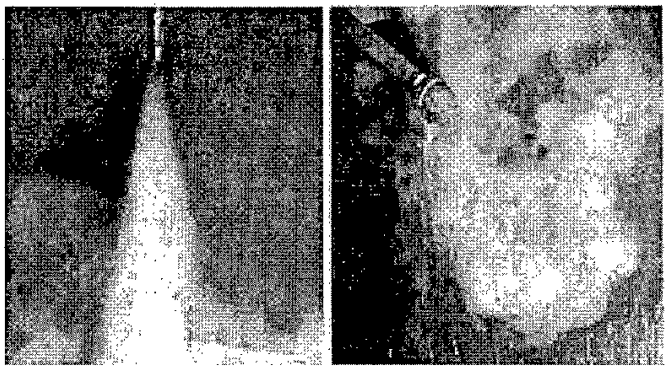
- hfgدرbarg=۰(۹۷۰BTU/Lbs)۲۲۵۶/۵KJ/Kg

۳۶۲/۵÷۲۲۵۶=۰/۱۶

بنابراین ۱۶٪ از آب به بخار تبدیل می‌شود.

این اتفاق در تخلیه تله‌بخارها به سیستم کندانس با فشار پایین‌تر نیز می‌افتد.(منحنی محاسـبه درصـد بخار اشباع در فصل ضمائم آمده است)

1- Flash Steam



شکل ۵-۹: الف)بخار فلش شکل۵-۹:ب)بخار زنده

مزایا و کاربرد بخار

بخار مزایایی دارد که کاربرد آن را بسیار سودمند می‌کند:

۱- حرکت بخار به سمت مصرف کننده‌ها نیازی به پمپ ندارد و با باز شدن شیرها وخروج بخار و یا کندانس شدن بخار فشار کاهش می‌یابد و به صورت اتوماتیک بخار از ابتدای خط به سوی انتهای خط حرکت می‌کند.

۲- باتوجه به گرمای‌نهان تبخیر که پیش‌تر توضیح دادیم یک لوله با سایز پایین می‌تواند انرژی زیادی را حمل کند و در نتیجه در سیستم بخار نسبت به آب‌گرم(استفاده از حرارت محسوس) به سیستم کوچک‌تری نیاز است.

در سیستم آب‌گرم انتقال انرژی از آب حدود۱۷ kcal/kg (۳۰BTU/Lbs) است که این میزان در سیستم بخار حدود ۵۳۹ kcal/kg (۹۷۰BTU/Lbs)است.

تمرین:

چنانچه در یک مبدل پوسته و لوله برای گرمایش سیالی به ۹۴۸,۰۰۰BTUانرژی نیاز باشد. مطلوبست مقایسه دو سیستم آب‌گرم و بخار برای تامین این انرژی

حل:

در سیستم آب‌گرم و با استفاده از حرارت محسوس و با اختلاف دمای رفت و برگشت۱۰°C (۲۰°F) به ازاء هر گالن در دقیقه۱۰,۰۰۰BTU انرژی جابجا می‌شود بنابراین به ۹۴۸ گالن در دقیقه معادل ۲۱۵ متر مکعب بر ساعت آب‌گرم نیاز است. برای انتقال این جریان آب و به‌شرط حفظ سرعت مجاز در لوله به لوله با سایز "۸ نیاز است. همچنین برای به گردش درآوردن این جریان به پمپی معادل ۲۵۰-۱۲۵ نیاز است. علاوه بر آن به یک سیستم لوله‌کشی مجهز به شیر سه راهه و شیر بالانسیگ نیز نیاز است.

اما در سیستم بخار چنانچه به ۹۴۸,۰۰۰BTU انرژی نیاز باشد و بخار اشباع ۱۰۰psi در اختیار باشد با توجه به انرژی نهان تبخیر۸۸۱ BTU/Lbs در فشار ۱۰۰psi می‌توان محاسبه نمود که به۱۰۷۶ Lbs بخار در ساعت احتیاج است.(حدود نیم تن در ساعت)

برای انتقال۱۰۷۶ Lbs بخار با فشار۱۰۰psi به لوله با سایز "۲ احتیاج است و هیچ نیازی به پمپ نیست.

۳- کنترل فشار و دما از آنجاییکه با هم در ارتباطاند قابل کنترل است.
۵- بخار استریل است و می‌توان آن را مستقیماً به سیستم فرآیند تزریق نمود. بدین ترتیب بخار در فضا پراکنده شده و دمای یکنواختی را ایجاد می‌کند.(اتاق‌های پخت با بخار و اتوکلاو بارزترین آنهاست)
۶- به سطوح انتقال حرارت کوچک‌تری نیاز است. بخار به علت داشتن ضریب انتقال حرارت بالا موجب کوچک شدن اندازه تجهیزات در دیگ‌خانه می‌شود.
نرخ انتقال حرارت بین سیال در حال حرکت و جسم جامد(مبدل)معمولاً توسط ضریب انتقال حرارت همرفتی نشان داده می‌شود که ارزش این ضریب برای آب حدود ۶۰۰۰-۱۰۰۰W/hrm2°c (۱۰۵۷-۲۶BTU/hrft2°f) و برای‌بخارحدود۱۵۰۰۰-۶۰۰۰W/hrm2°c (۱۰۵۷-۲۶۴۱BTU/hrft2°f) است.
۷- احتیاج به شیر سه‌راهه و بالانسینگ ندارد.
۸- خطرناک نبوده ایجاد جرقه نکرده و مشتعل نمی‌شود.
۹- سمی نیست و در صورت نشت هوا را آلوده نمی‌کند.
۱۰- نسبت به آب‌گرم سرعت عملکرد بالاتری دارد.

کاربرد بخار

بخار در سیستم‌های HVAC و همچنین در صنایع مختلف کاربرد وسیعی دارد که مهم‌ترین آنها عبارت‌اند از:

- گرمایش
- استریل کردن
- نیروی محرکه
- اتمیزه کردن
- ایجاد رطوبت

۱-گرمایش

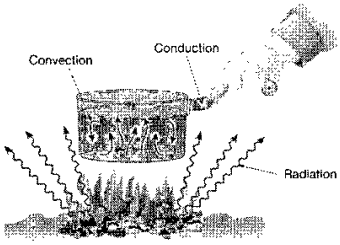
بدون شک مهم‌ترین کاربرد بخار گرمایش توسط آن است.
انتقال حرارت از جسمی به جسمی دیگر هنگامی انجام می‌شود که بین آن‌ها اختلاف دما وجود داشته باشد. اگر جسم با محیط اطراف خود هم دما باشد بین جسم و محیط، انتقال گرما وجود نخواهد داشت. انتقال حرارت همواره از جسم با دمای بیشتر به جسم با دمای کمتر بوده و هرگز در جهت عکس صورت نمی‌گیرد. از این جهت می‌توان گرما را به آبی تشبیه نمود که از یک مخزن در ارتفاع بالاتر به طرف مخزن در ارتفاع پایین‌تر جریان می‌یابد. انتقال حرارت بخار می‌تواند به طریق مختلف انجام گیرد.

روش‌های انتقال حرارت

به جریان حرارت از ماده‌ای با درجه حرارت بیشتر به ماده‌ای با درجه حرارت کمتر انتقال حرارت می‌گویند. به طور کلی حرارت به سه روش مستقل زیر منتقل می‌شود:
۱- هدایت[1] (رسانش)
۲- جابه‌جایی[2] (وزش- همرفت)

1 - Conduction
2 - Convection

۳- تشعشع[1] (تابش)



شکل ۵-۱۰: روش‌های مختلف انتقال حرارت

با وجود اینکه اغلب اوقات حرارت از هر سه طریق منتقل می‌شود ولی بهتر است برای سهولت محاسبه، مطالعه هر یک از روش‌های فوق، به طور جداگانه صورت گیرد.

جریان انتقال حرارت یکی از مسائل مهم و اساسی شاخه تأسیسات حرارتی و برودتی بوده و با محاسبه مقدار انتقال حرارت است که می‌توان قدرت تجهیزات، ظرفیت، اندازه وسایل گرم کننده و سرد کننده و همچنین مشخصات لوله‌های حامل و ناقل حرارت را بدست آورد. انتقال حرارت دو شکل خاص دارد:

الف: انتقال حرارت یکنواخت[2]

در این حالت مقدار حرارت انتقالی در زمان‌های مختلف ثابت بوده و تغییر نمی‌کند مانند جریان انتقال حرارت از جداری که درجه حرارت دو طرف آن در طول زمان انتقال حرارت، ثابت بماند که البته مثال عملی آن کمتر پیش می‌آید.

ب: انتقال حرارت غیریکنواخت[3]

در این حالت مقدار جریان حرارت بر حسب زمان تغییر نموده و ثابت نیست مانند انتقال حرارت از سطح داخلی یک دیوار گرم به سطح خارجی آن که دمای این سطح بر حسب تغییر شدت تابش آفتاب و یا تغییر سرعت وزش باد و عوامل دیگر در هر لحظه تغییر می‌کند و در نتیجه مقدار جریان حرارتی نسبت به زمان تغییر می‌کند که محاسبات آن مشکل و بعضی مواقع غیر مقدور است. در محاسبات تلفات حرارتی ساختمان‌ها منظور از محاسبه بار حرارتی یا برودتی، تعیین مقدار تلفات حرارتی در حالتی است که هوای خارج، بدترین وضع و شرایط نامناسب فصل را دارا می‌باشد، و همچنین شرایط حرارتی داخل ساختمان نیز باید پایا فرض شود. بنابراین برای تعیین بار حرارتی و برودتی محاسبات انتقال حرارت از نوع جریان یکنواخت فرض خواهد شد.

انتقال حرارت از طریق هدایت

هدایت فرایندی از انتقال حرارت است که توسط جنبش مولکول‌ها صورت می‌گیرد و در بعضی موارد توسط جریان آزاد الکترون‌ها و ارتعاشات شبکه‌ای، از میان یک جسم(جامد، مایع یا گاز) از ناحیه‌ای با دمای بالا به ناحیه‌ای با دمای پایین انجام می‌شود. انتقال حرارت از طریق هدایت، همچنین می‌تواند در اثر تماس یا اتصال دو جسم با دماهای متفاوت صورت گیرد. در کوئل‌های بخار گرمای بخار از طریق بدنهٔ مسی، فولادی یا چدنی کوئل به سیال طرف دیگر که هوا یا آب است به همین شکل انتقال می‌یابد.

---

1 - Radiation
2 - Steady-State Heat Transfer
3 - Unsteady Heat Transfer

قابلیت هدایت حرارتی[1]: مقدار حرارتی است که از واحد سطح جسمی به ضخامت واحد به ازاء یک درجه اختلاف دما در مدت زمان یک ثانیه عبور نماید. و واحد آن در سیستم‌های SI، متریک و انگلیسی به ترتیب عبارتند از: W/m.°K ، Kcal/hr.m.°C و BTU/hr.ft.°F

مقدار قابلیت هدایت حرارتی برای گازها بین ۰/۵ Kcal/hr.m.°C تا ۰/۰۰۵، برای مایعات بین ۰/۶ Kcal/hr.m.°C تا ۰/۰۸، برای فلزات بین ۳۶۰ Kcal/hr.m.°C تا ۲ و برای اجسام عایق و مصالح ساختمانی بین ۲/۵ Kcal/hr.m.°C تا ۰/۰۲ محدود می‌باشد.

موادی که قابلیت هدایت حرارتی آن‌ها $K \le 0.2\,Kcal/hr\cdot m\cdot{}^{o}C$ *باشد مواد عایق حرارتی نامیده می‌شوند.*

جداول (۵-۲) و (۵-۳) قابلیت هدایت حرارتی بعضی از اجسام را در دمای معمولی نشان می‌دهند.

جدول۵-۲: قابلیت هدایت حرارت K برای مصالح مختلف

مواد	جرم مخصوص(ρ) $\frac{Kg}{m^3}$	قابلیت هدایت حرارتی (K) $\frac{W}{m-{}^{o}K}$	$\frac{Kcal}{hr\cdot m\cdot{}^{o}C}$
ملات سیمان- شفته سیمان	۱۸۰۰< ρ <۲۱۰۰	۱/۱۵	۱
گچ و خاک	۹۰۰< ρ <۱۱۰۰	۱/۱۵	۱
پشم معمولی- پشم شیشه	۲۰< ρ <۳۰	۰/۰۴۱	۰/۰۳۵
چوب‌های سنگین	۸۰۰< ρ <۱۰۰۰	۰/۲۹	۰/۲۵
آسفالت	۲۱۱۰	۱/۱۵	۱
ماسه خشک	۱۵۰۰	۰/۳۵	۰/۳
ماسه مرطوب	-	۱	۰/۹
کاشی لعابی	-	۰/۷	۰/۶
کاشی پلاستیکی	-	۰/۲۳	۰/۲
کائوچو	۱۱۰۰	۰/۱۶-۱/۲۳	۰/۱۴-۰/۲
کاغذ و کارتن	-	۰/۱۳	۰/۱۱
گچ	۱۱۰۰< ρ <۱۳۰۰	۰/۷	۰/۶
صفحات فشرده شده از ذرات چوب	۸۵۰< ρ <۱۰۰۰	۰/۲۱	۰/۱۸
صفحات فشرده شده از پشم	۵۰۰	۰/۱۰	۰/۰۹
مواد پلاستیکی	۵۰ < ρ < ۱۰۰	۰/۰۴۲	۰/۰۳۶
پوکه معدنی	-	۰/۱۵	۰/۱۳
قیرگونی (سه لایه قیر- دو لایه گونی)	-	۰/۲۵	۰/۲۱

1 -Thermal Conductivity

جدول ۵-۳: قابلیت هدایت حرارت K برای مصالح مختلف

مواد		جرم مخصوص(ρ) $\frac{Kg}{m^3}$	قابلیت هدایت حرارتی(K) $\frac{W}{m-^\circ K}$	قابلیت هدایت حرارتی(K) $\frac{Kcal}{hr\cdot m\cdot ^\circ C}$
چوب		۶۰۰<ρ< ۷۵۰	۰/۲۳	۰/۲
آهن		۷۸۷۰	۷۲	۶۲
فولاد		۷۷۸۰	۵۲	۴۵
چدن		۷۵۰۰	۵۵	۴۸
آلومینیم		۲۷۰۰	۲۳۰	۲۰۰
مس		۸۹۳۰	۳۸۰	۳۳۰
سرب		۱۱۳۴۰	۳۵	۳۰
روی		۷۱۳۰	۱۱۰	۹۵
شیشه		۲۷۰۰	۱/۱۵	۱
	دو جداره		۱/۷	
	دو جداره خلاءدار		۱/۳	
سنگ‌ها	گرافیت	۲۵۰۰< ρ <۳۰۰۰	۳/۵	۳
	بازالت	۲۵۰۰< ρ <۳۰۰۰	۳/۵	۳
	مرمر	ρ <۲۶۰۰	۲/۹۱	۲/۵
	معمولی	۲۰۰۰< ρ <۳۳۰۰	۱/۴	۱/۲
خاک‌های پخته- آجر		۱۷۰۰< ρ <۲۰۰۰	۱	۰/۹
بتن با دانه‌بندی سنگین		۲۲۰۰< ρ <۲۴۰۰	۱/۷۵	۱/۱۵
		۱۸۰۰< ρ <۲۱۰۰	۱/۴	۱/۲
بتن با دانه‌بندی سبک		۱۴۰۰< ρ <۱۶۰۰	۰/۵۲	۰/۴۵
		۱۰۰۰< ρ <۱۲۰۰	۰/۳۵	۰/۳

✓ *در یک ماده مشابه اگر چگالی بیشتر باشد ضریب هدایت حرارتی آن نیز بیشتر است. برای مثال چوب و بتن‌های سنگین‌تر ضریب هدایت حرارتی بالاتری دارند.*

با توجه تعریف عایق حرارتی و بررسی جدول (۵-۳) مشاهده می‌شود که هیچ‌کدام از سنگ‌ها و بتن‌ها عایق حرارتی نیستند.

با توجه به جدول (۵-۲) می‌توان فهمید که انواع پشم‌ها عایق خوب حرارت هستند. پوکه معدنی ضریب هدایت حرارتی پایینی دارد این ماده دانه‌های سبک حاصل از فعالیت‌های آتشفشانی است که از دیگر مزایای آن می‌توان به چند مورد زیر اشاره کرد:

۱-بسیار سبک است لذا برای کف سازی و شیب بندی بام‌ها و کف ساختمان پیشنهاد می‌شود.

۲-عایق صوتی خوبی است و امواج کوبه‌ای را از خود عبور نمی‌دهد لذا در ساختمان‌های فلزی برای

جلوگیری از عبور صدا بین طبقات و مخصوصاً برای طبقه چهارم پیشنهاد می‌شود.

۳-مقاوم در برابر انقباض و انبساط.

۴-مقاوم در مقابل آتش سوزی؛ به طوری که تا ۷۶۰ درجه سانتی‌گراد هیچ تغییری در حجم و شکل آن حاصل نمی‌شود.

در اجرای پوکه معدنی باید موارد زیر را رعایت نمود :

سریع روی آن پوشانده شود چون بر اثر آب و رطوبت باد می‌کند و پس از خشک شدن خاصیت خود را از دست می‌دهد.

برای جلوگیری از سر خوردن آن در شیب بندی‌ها باید آن را با خاک رس ترکیب نموده و بام را قبل از پوکه ریزی آجر چینی نمود.

رابطه بین انتقال حرارت و اختلاف دما

در سال ۱۸۲۲ به صورت تجربی رابطه بین انتقال حرارت و اختلاف دما برای مواد همگن و جریان حرارتی یکنواخت به صورت رابطه (۵-۱) ارائه شد که این رابطه برای بیشتر مواد از جمله تمام مواد مورد استفاده در صنعت تأسیسات قابل استفاده است.

$$H = KA\frac{(T_2 - T_1)}{\Delta X} \qquad (۵-۱)$$

که در این رابطه:

H: مقدار حرارت انتقال یافته.

K : ضریب هدایت حرارتی.

T2-T1 : اختلاف درجه حرارت.

A : سطح عبور گرما (سطحی که عمود بر جریان حرارت است).

ΔX: ضخامت جسم.

انتقال حرارت جابجایی[1]

در این روش، انتقال حرارت توسط حرکت و جابجایی مولکول‌های سیال (گاز یا مایع) صورت می‌گیرد. انتقال حرارت جابجایی منحصراً در گازها و مایعات که مولکول‌های آن‌ها قابلیت حرکت دارند امکان‌پذیر است. در مورد انتقال گرما به طریق جابجایی نمی‌توان مانند هدایت حرارتی ، رابطه‌ای ساده به دست آورد، زیرا مقدار گرمای مبادله شده بین سیال (گاز یا مایع) و سطح جسم جامد به عوامل متعددی از جمله زبری سطح، عمودی یا افقی قرار گرفتن سطح، چگالی سیال، گرمای ویژه، ضریب انتقال حرارتی سیال، سرعت سیال و غیره بستگی دارد. به طور کلی مقدار گرمایی که به روش جابجایی بین یک سطح و سیال مبادله می‌شود متناسب است با مساحت این سطح و اختلاف دمای سطح جامد و دمای متوسط سیال ناقل. مقدار انتقال حرارت جابجایی از رابطه (۵-۲)که به رابطه نیوتون معروف است بدست می‌آید.

$$H = FA\left(T_S - T_m\right) \qquad (۵-۲)$$

که در آن:

H : مقدار حرارت جابجا شده به روش جابجایی

F : ضریب انتقال حرارت جابجایی سطح

A : سطح جسم جامد.

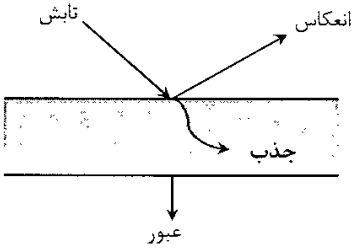
1-Convection Heat Transfer

T_s : دمای سطح جسم.

T_m : دمای متوسط سیال.

انتقال حرارت تابشی[1] (تشعشعی)

تابش گرمایی به انرژی صادر شده از سطح خارجی یک جسم با دمای معین اطلاق می‌شود. انرژی تشعشعی توسط امواج الکترومغناطیسی (یا فوتون‌ها) منتقل می‌شود. این امواج با سرعت نور منتشر می‌شوند و هرگاه به جسمی برخورد کنند که در برابر اشعه حرارتی شفاف نباشد (نظیر کف دست، دیوار اطاق و غیره) مقداری از انرژی این امواج جذب آن‌ها شده و به حرارت تبدیل می‌شوند. این نوع انتقال حرارت بر خلاف انتقال حرارت هدایت و جابجایی نیاز به محیط مادی ندارد. در حقیقت، انتقال تشعشع در خلأ بهتر صورت می‌گیرد. امواج تابش در هنگام عبور از هوا، قسمتی از آن‌ها جذب هوا می‌شود. با تابش امواج تشعشعی به یک سطح، بسته به خصوصیات آن مقداری از آن جذب جسم می‌شود و مقداری از آن از جسم عبور می‌کند و بقیه امواج از سطح جسم منعکس می‌شوند. شکل (۵-۱۱) نمایشی از تابش و جذب و انعکاس و عبور انرژی از جسم را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ملاحظه می‌شود که تمام اجسام در عین اینکه از خود انرژی می‌تابند از طرف دیگر انرژی جذب می‌کنند و هرگاه جسم، جذب کننده خوبی باشد منعکس کننده ضعیفی است و بالعکس.



شکل۵-۱۱: چگونگی تابش

مقدار تابش از سطح یک جسم تابش کننده‌ی ایده‌آل یا جسم سیاه (بیشترین شار گرمایی تشعشعی)، توسط قانون استفن- بولتزمن[2] تعیین می‌شود.

$$H = \sigma\left(T_S^4 - T_{Sur}^4\right) \qquad (۵-۳)$$

که در آن:

Ts : دمای مطلق محیط بر حسب کلوین

Tsur : دمای مطلق جسم بر حسب کلوین

H : گرمای تابشی

σ : ثابت استفن- بولتزمن است.

انتقال حرارت ناشی از جابجایی سیال

منظور از تعیین مقدار انتقال حرارت از طریق جابجایی سیال، بدست آوردن مقدار حرارتی است که از جابجا شدن حجم معین یک سیال از یک ناحیه به ناحیه دیگر منتقل می‌شود. مانند انتقال حرارت ناشی

1-Radiation Heat Transfer
2-Stefan – Boltzman Law

از نفوذ هوای بیرون به داخل اتاق. برای بدست آوردن این نوع انتقال حرارت با فرض یکسان بودن رطوبت نسبی دو ناحیه‌ای که سیال بین آن‌ها جابجا شده، از رابطه (۵-۴) استفاده می‌کنیم.

$$H_V = C_{PU} V (T_2 - T_1) \qquad (۴-۵)$$

که در آن:

Hv: حرارت منتقل شده ناشی از جابجا شدن سیال

Cpu: حرارت مخصوص سیال جابجا شده (گرمای ویژه سیال در فشار ثابت برای واحد حجم)

V : نرخ هوای جابجا شده

T1: دمای ناحیه سردتر

T2 : دمای ناحیه گرم‌تر

(واحد ترم‌های رابطه یا همگی SI و یا همگی متریک)

ضریب انتقال حرارت کلی

در حالت کلی می‌دانیم که حرارت از طریق هدایت، جابجایی و تابش منتقل می‌گردد. برای راحتی و محاسبه سریعتر مقدار انتقال حرارت کلی (مجموع انتقال حرارت‌های ناشی از هدایت، جابجایی و تابش) ضریب انتقال حرارت کلی را تعریف می‌کنیم. ضریب انتقال حرارتی کلی یک جدار در سیستم SI، مقدار گرمایی است که از یک مترمربع سطح آن جدار که اختلاف دمای طرفین آن یک درجه کلوین است عبور می‌نماید. واحد ضریب انتقال حرارت کلی در سیستم-های متداول به صورت زیر است:

در سیستم SI : $U\left(\frac{W}{m^2 - ^\circ K}\right)$

در سیستم متریک : $U\left(\frac{Kcal}{hr.m^2 - ^\circ C}\right)$

در سیستم انگلیسی : $U\left(\frac{BTU}{hr.ft^2.^\circ F}\right)$

۲- استریل کردن

بخار برای استریل کردن بهترین و در دسترس‌ترین گزینه است. پرمصرف‌ترین دستگاه استریل‌کننده توسط بخار اتوکلاو است.

اتوکلاو چیست ؟

اتوکلاو یا دستگاه استریل‌کننده با بخار، یک محفظه دارای فشار است که در آن از بخار اشباع برای افزایش دما جهت استریلیزاسیون استفاده می‌شود.البته از آنجاییکه بخار نمی‌تواند در چربی‌ها نفوذ کند بدین ترتیب وسایل آلوده به چربی باید از طرق دیگری استریل شوند. اتوکلاو باید در داخل آزمایشگاه وجود داشته باشد. اگر اتوکلاو در خارج از آزمایشگاه قرار داشت مواد و وسایل مورد نظر باید در ظروف ضد نشت و قابل استریل کردن بسته‌بندی شده و به اتوکلاو منتقل شوند.

۳- نیروی محرکه

نیروی محرکه بخار برای به گردش در آوردن توربین‌های نیروگاه تولید برق را می‌توان پرکاربردترین استفاده از نیروی محرکه بخار دانست. از نیروی محرکه بخار در کشتی‌ها نیز استفاده می‌شود. نیروی محرکه توربین بخار باعث ورود ذغال سنگ و دیگر سوخت‌های مورد استفاده در تولید بخار بعنوان نیروی پیشرانش به کشتی گردید. نیروی محرکه توربین بخار متداولترین نیروی محرکه دریایی در اواخر قرن ۱۹ و اوایل قرن بیستم بود. اما امروزه نیز در کشتی‌های نظامی با سوخت هسته‌ای به کمک بخار تولید شده توسط راکتور آبی نیروی محرکه بزرگترین کشتی‌ها فراهم می‌شود.

۴-رطوبت زنی

رطوبت زنی با بخار در اشکال مختلف و در محل‌های مختلفی انجام می‌گیرد اما بدون شک ملموس‌ترین شکل آن رطوبت زنی بخار در سونای بخار است.

سونا

سونا رفتن باعث تعریق و ایجاد آرامش در بدن می‌شود و فوائد بهداشتی فراوانی برای انسان دارد. کلمه سونا برگرفته از یک کلمه فنلاندی (ساونا) که به معنی قرار گرفتن در دود است.سونا از سال ۱۷۰۰ میلادی در حمام‌های عمومی مورد استفاده قرار گرفته است. در این اتاق دریچه‌های برای ورود بخار در نظر گرفته شده است. آب در بویلر به بخار تبدیل شده و سپس بخار آب وارد اتاق می‌شود به این ترتیب با اتاقی مملو از بخارهای داغ مواجه هستیم که محل بسیار مناسبی برای گرم شدن و عرق کردن بدن است. این اتاق‌ها معمولاً آنچنان مملو از بخار هستند که به زحمت می‌توان چیزی را دید.

۵-تمیز کردن

از بخار برای تمیز کردن انواع سطوح می‌توان استفاده کرد و مثال بارز آن انواع بخار شوی‌های خانگی است.اما یکی از مهمترین کارایی‌های بخار در تمیز کردن سطوح گرمایی دیگ‌های لوله آبی است.

دوده زدا

دوده زدا وسیله‌ای است که با دمیدن جت بخار بر روی سطوح تماس با گازهای کوره رسوب‌های آن را جدا می‌کند. دوده زدا از دیواره دیگ وارد می‌شود و در مسیر جریان گازها قرار می‌گیرد بدین ترتیب بخار در مسیر فضای عبور گازها پخش می‌شود و رسوب‌ها را از سطوح حرارتی جدا می‌کند. دوده زداها می‌تواند چند نازله ویا چند نوع جت چرخشی و یا از نوع پسامدی باشد.

عملیات دوده زدایی موجب انتقال حرارت بهتر شده و می‌تواند به میزان۱/۵تا۲٪ در مصرف سوخت بویلر صرفه‌جویی کند.

۶- اتمیزه کردن

برای آنکه سوخت‌های مایع بتوانند اختلاط مناسبی با هوا داشته باشند باید به صورت پودر در بی آیند.(اتمیزه شوند) یکی از روش‌های اتمیزه کردن سوخت استفاده از نیروی بخار است.

فصل ۶
انواع دیگ‌بخار

تاریخچه

جیمزوات مخترع اسکاتلندی که اغلب از او به عنوان مخترع ماشین بخار زیاد یاد می‌شود چهره اصلی انقلاب صنعتی است. وات در واقع اولین سازنده ماشین بخار نیست. «هرو او آلکساندریا» در قرن اول میلادی ابزارهای مشابهی را توصیف کرده بود. در سال ۱۶۹۸ «توماس ساوری» ماشین مشابهی را به ثبت رساند که برای تلمبه کردن آب از آن استفاده می‌شد و در ۱۷۱۲ «توماس نیوکومن» نوع پیشرفته‌تری از آن را به ثبت رساند. با وجود این ماشین ساخته شده توسط نیوکومن کارایی بسیار کمی داشت و آن را فقط برای خارج کردن آب از معادن زغال سنگ به کار می‌گرفتند. وات با اینکه فقط یک دوره کارآموزی یکساله را در زمینه ابزارسازی گذرانده بود ولی از استعداد ابداع و نوآوری فراوان برخوردار بود. وی در سال ۱۷۶۴ هنگامی که مشغول تعمیر یک مدل از ماشین‌های نیوکومن بود به ماشین بخار علاقمند شد. وات اصلاحاتی آنچنان مهم و ارزنده در ماشین اختراعی نیوکومن به عمل آورد که می‌توان او را مخترع اولین ماشین بخار دانست.اولین تغییر مهم وات که در سال ۱۷۶۹ به ثبت رساند اضافه کردن یک محفظه جداگانه تراکم بخار بود.

او همچنین با عایق‌بندی، سیلندر بخار را مجزا کرد و در سال ۱۷۸۲ ماشین دوطرفه را اختراع نمود. تمام این‌ها همراه با چند فقره تغییرات و اصلاحات کوچک‌تر به کارایی بیشتر ماشین‌های بخار منتج شد. این ازدیاد کارایی عملاً به معنای تفاوت بین یک ابزار ماهرانه ولی نه چندان قابل استفاده با وسیله‌ای با توان صنعتی فراوان بود. وات در سال ۱۷۸۱ با اختراع یک سری چرخ‌دنده حرکت تناوبی موتور را به حرکت دورانی تبدیل کرد. با استفاده از این ابزار بر موارد استفاده از موتور بخار به شکل چشمگیری افزوده شد.

وات که خود فاقد استعداد لازم در کارهای تجاری بود، در سال ۱۷۷۵ به اتفاق «ماتیو بولتون» که مهندسی چیره‌دست و معامله‌گری توانا بود شرکتی تأسیس کرد، طی ۲۵ سال بعد شرکت وات — بولتون تعداد زیادی موتورهای بخاری تولید و به بازار عرضه کرد که در نتیجه ثروت سرشاری نصیب آن دو گردید.

در باب اهمیت ماشین بخار مبالغه و گزافه‌گویی نمی‌شود. درست است که بسیاری از اختراعات دیگر در انقلاب صنعتی نقش داشته‌اند.ولی هیچ‌یک از آنها به‌تنهایی نمی‌توانستند برای انقلاب صنعتی حیاتی

باشند. قبل از آن اگر چه از نیروی آب و باد برای به گردش درآوردن چرخ آسیاب‌ها استفاده می‌شود ولی منبع اصلی نیرو همواره عضلات انسان بود. استفاده از این عامل ظرفیت تولید صنعتی را به کلی محدود می‌کرد. با اختراع ماشین بخار این محدودیت بر طرف شد. پس از آن انرژی بسیار زیادی برای تولید در دسترس بود و مرتباً نیز به میزان آن افزوده می‌شد.

دیگ‌بخار

دیگ‌بخار عبارت است از یک مخزن بسته که در آن بخار آب جهت استفاده در خارج از آن توسط گرمای ناشی از احتراق سوخت تولید می‌شود. داخل دیگ‌بخار شامل دو بخش طرف آتش و طرف آب است. سطح گرمایی دیگ‌بخار به مجموع کلیه سطوح در طرف آتش دیگ‌بخار اطلاق می‌شود.

تمام بخش‌های داخلی و تحت فشار یک دیگ‌بخار از آلیاژهای آهنی ساخته می‌شوند. دیگ‌های بخار از نظر نوع جنس به دو دسته چدنی و فولادی تقسیم‌بندی می‌شوند. دیگ‌بخار چدنی برای تولید بخار کم فشار ساخته می‌شود و اصولاً در کشورمان کاربرد ندارد و اکثر قریب به اتفاق دیگ‌های بخار موجود در کشورمان از نوع فولادی هستند.

فولاد

فولادهای غیرآلیاژی :این فولادها از ۰,۰۶ تا۱/۵ درصدکربن دارند. عناصر دیگری نیز با آنها همراه است که درهرحال مقدارآن‌ها نباید از حد معینی بیشتر باشد. درفولادهای غیرآلیاژی، کربن نقش تعیین‌کننده را دارد، به همین دلیل، این فولادها به فولادهای کربنی نیز معروف هستند.

فولادهای آلیاژی: اگرفولاد را برای افزایش و تامین خواص مورد نظر با فلزاتی مانند کرم، نیکل، ولفرام، کبالت، مولیبدن، منگنز، وانادیم و ... آلیاژ کنند، فولادهای آلیاژی به دست می‌آید .چنانچه مجموع درصد وزنی عناصر موجود در فولاد آلیاژی از ۵درصد کمتر باشد، آن را فولاد «کم آلیاژ» و چنانچه از ۵درصد بیشتر باشد، «فولاد پرآلیاژ» می‌نامند.

فولادهای ساختمانی

به فولادهایی می‌گویند که از آنها می‌توان به عنوان مواد اولیه برای ساختمان اسکلت‌های فلزی، اسکلت پل‌ها وهمچنین برای ساختن قطعات وسایل نقلیه، دستگاهها، ماشین آلات، اجزای ماشین (پیچ ومهره، میله ومحور، یاتاقان غلتشی و ..) استفاده کرد. امروزه حدود ۹۰ درصد محصولات کاخانه‌های فولادسازی را فولادهای ساختمانی تشکیل می‌دهند.

فولادهای ساختمانی معمولی: این فولادها جزء فولادهای غیرآلیاژی هستند و چون درانتخاب آن‌ها استحکام کششی نقشی تعیین‌کننده دارد، آن‌ها را برحسب استحکام کششی شان طبقه‌بندی می‌کنند. استحکام کششی این فولادها متناسب با درصدکربن موجود در آنها افزایش می‌یابد و برعکس، انبساط(کش آمدن) آنها کاهش می‌یابد به عبارت دیگر، با افزایش کربن، شکنندگی فولاد بیشتر می‌شود. همچنین ازدیاد کربن قابلیت تغییر فرم، قابلیت جوشکاری، و براده برداری فولاد را کاهش می‌دهد .

فولادهای دانه ریزمخصوص جوشکاری: این فولادها قابلیت جوشکاری خوبی دارند.

فولادهای سختکاری شونده (کربوریزه): ازاین فولادها برای ساختن قطعاتی استفاده می‌شود که بایستی دارای سطح خارجی سخت وقسمت داخلی (مغز) نرم باشند. همچنین سطح آنها درمقابل

سایش مقاوم بوده وقسمت داخلی آنها قابلیت تحمل خود را در مقابل ضربه حفظ کند و شکننده نباشد. برای این منظور، ابتدا کربن سطح خارجی آن‌ها رابا روش‌های مختلف افزایش می‌دهند وسپس سختکاری می‌کنند. برای اینکه قسمت داخلی این فولادها پس ازسختکاری، نرم باقی بماند، باید مقدار درصد کربن آن‌ها از۰.۲ درصد کمتر باشد.

فولادهای بهسازی شونده: این فولادها جزء فولادهای ساختمانی هستند و۰.۲ تا ۰.۶ درصد کربن دارند. استحکام کششی ومقاومت این فولادها رامی‌توان به وسیله بهسازی (سخت کردن و برگشت دادن تا درجه حرارت ۵۰۰ تا ۷۰۰ سانتی‌گراد) افزایش داد فولادهای بهسازی شونده برای ساخت قطعاتی به‌کار می‌رود که درمعرض ضربه و برخورد قرار دارند مانند میل لنگ‌ها، محورلنگ پرس‌های ضربه‌ای ومحور وسایل نقلیه .

فولادهای ازته شدنی (نیتروژه): این فولادها قابلیت جذب ازت را دارند وبه همین دلیل می‌توان سطح آ نها راپس از بهسازی به وسیلهٔ جذب سطحی ازت سخت کرد. این فولادها جزء فولادهای آلیاژی هستند وممکن است حاوی فلزاتی مانند کرم، مولیبدن، وانادیم، نیکل وآلومینیوم باشند. وجود فلزاتی مانند کرم، مولیبدن وآلومینیم قابلیت جذب ازت را درفولاد افزایش می‌دهند. ازاین فولادها درساخت قطعاتی استفاده می‌شود که نباید هنگام عملیات حرارتی پیچیدگی پیدا شود.

فولادهای اتومات: این فولادها که به آنها «فولادهای خوش تراش» نیز می‌گویند، جزء فولادهای ساختمانی هستند. استحکام این فولادها برحسب درصد عناصر موجود در آن‌ها متفاوت است. در هنگام براده برداری از این فولادها، براده‌های کوتاهی جدا می‌شوند وسطح خوبی را به دست می‌دهند. این ویژگی بیشتراز همه مرهون وجود گوگرد (s) است که مقدار آن دراین گونه فولادها به ۰.۱۸ تا ۰,۴ درصد می‌رسد.

فولادهای فنر: فولادهای فنر علاوه بر استحکام کششی زیاد، باید خاصیت الاستیسیته خوبی داشته و در برابر سایش و ارتعاش نیز مقاوم باشند. وجود سیلیسیم درفولاد فنر خاصیت الاستیسیته و وجود کرم استحکام ومقاومت درمقابل خوردگی را افزایش می‌دهد. این ویژگی‌ها تنها به درصد عناصر موجود در فولاد بستگی ندارد بلکه با وجود آن‌ها می‌توان به وسیله‌ی عملیات حرارتی وتغییر فرم درحالت سرد، خواص آن را تغییر داده و ویژگی‌های مورد نظر را به دست آورد

فولادهای مخصوص: دامنه‌ی فولادهای مخصوص به قدری وسیع است که نمی‌توان درباره ویژگی‌های همه آنها سخن گفت. این فولادها رابه سه گروه: فولادهای نسوز، فولادهای ضد زنگ و فولادهای ضد مغناطیس، تقسیم کرده‌ایم وهریک از آن‌ها را شرح می‌دهیم.

فولادهای نسوز (مقاوم درمقابل حرارت وگداختگی)

استحکام این فولادها تا دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد تضمین شده است وتا دمای ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد نیز نمی‌سوزند. شایان توجه است که درمورد گداختگی وسوختن فولادها دو مطلب مهم مورد نظر است.

الف–مقاومت در مقابل تاثیر گازهایی مانند اکسیژن و اکسیدهای کربن، بخار آب وگازهای گوگرددار در دماهای بالا.

ب – حفظ خواص مکانیکی در دماهای بالا ، این ویژگی‌ها بیشتر مرهون کرم موجود درآنها بوده و هر چه دمای کاری آن‌ها بیشتر باشد ، باید مقدار کرم بیشتری با آن‌ها آلیاژ شود تا از سوختن (درشت دانه شدن) فولاد جلوگیری کند. از این فولادها برای تهیه ورق، لوله‌های تاسیسات دیگ‌های بخار، پره‌های توربین‌های گازی و بخاری، سوپاپ دود موتورهای احتراقی و ... استفاده می‌شود.

جدول۶-۱: ویژگی‌ها وکاربرد فولاد نسوز

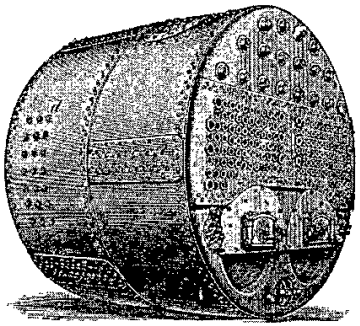
ویژگی‌ها وکاربرد فولاد نسوز		
موارد استفاده	**ویژگی‌ها**	**علامت اختصاری**
لوله داغ بخار آب	قابلیت جوشکاری خوب	14 Cr Mo 4
سوپاپ‌های موتورهای احتراقی	مقاوم در مقابل سایش و خورندگی	X 45 Cr Ni W 15 13 X 45 Cr Ni Si 19 10
قطعات کوره‌های صنعتی جعبه‌های بهسازی	مقاوم در برابر سوختن (تا ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد)	X 15 Cr Ni Si 25 20

فولادهای ورق: فولادهای ورق را در گروه‌های خیلی ظریف، سفید و همچنین ظریف، متوسط، خشن و ورق دیگ‌سازی تولید می‌کنند. ورق‌های خیلی ظریف وسفید را از فولادهای غیر آلیاژی نرم با ضخامت‌های کمتر از ۰,۵ میلی‌متر تولید می‌کنند. چربی سطح خارجی این فولادها را پس از تولید از بین می‌برند به همین دلیل می‌توان روی آنها به‌خوبی رنگ کاری کرد و عملیات چاپ را انجام داد.

ورق‌های ظریف برای کارهایی مانند کشش عمیق یا ایجاد نقش برجسته مناسب است وسطح خارجی آن را می‌توان به‌خوبی گالوانیزه یا رنگ کرد. درجه خوبی این ورق‌ها رابرحسب اعدادی از ۱۰ تا ۱۴ نرم‌بندی کرده‌اند، به عنوان مثال، علامتSt10 برای ورق‌های با قابلیت کشش عمیق وSt14 برای ورق‌هایی که قابلیت کشش خیلی خوبی دارند، انتخاب کرده‌اند. برای نشان دادن عملیاتی که پس از نوردکاری روی ورق‌ها انجام می‌شود، از عددهای ۰۱، ۰۲، ۰۳، ۰۴، ۰۵ استفاده می‌شود. انواع ورق‌های ظریف، درحالت‌های سرد و گرم شکننده نیستند ومقدار کربن آن‌ها از ۰.۱ تا ۰.۱۵ درصد است. این فولادها می‌توانند تغییر شکل دهند و قابلیت جوش ذوبی دارند. انواع ۰۳، ۰۴، ۰۵ برای جوش نقطه‌ای و درزی مناسب است ورق‌های متوسط و خشن را معمولاً از فولادهای ساختمانی معمولی وهمچنین از فولادهای بهسازی شونده وسختکاری شونده سطحی تهیه می‌کنند. مخزن‌ها ولوله‌های تحت فشاری را که لازم است قابلیت جوش ذوبی داشته باشند، ازفولادهای غیراً لیاژِ می‌سازند. علائم مشخصه این فولادها HIV، HIII، HII، HI است. هرچه عددهای به کاررفته درعلامت اختصاری بزرگ‌تر باشد، نشان دهنده‌ی افزایش درصد کربن و استحکام کششی آنهاست. این ورق‌ها به « ورق‌های دیگ سازی» معروف هستند.

جوشکاری

با پیشرفت علم و تکنولوژی بیش از نیم قرن است که روش ساخت دیگ‌های فولادی با جوشکاری انجام می‌شود و دیگ‌های پرچی فولادی دیگر تولید نمی‌گردد.



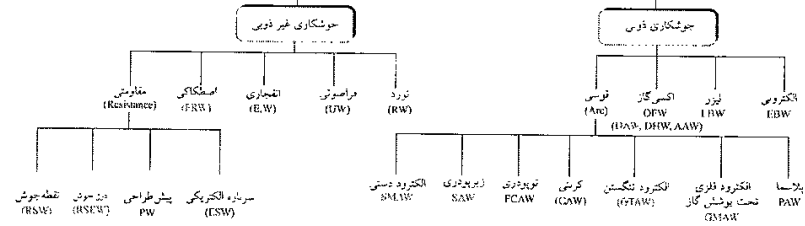
شکل ۶-۱: دیگ‌بخار پرچی ذغال سنگ سوز کشتی بخار(اوایل قرن بیستم)

در حالت کلی حذف فاصله بین اتمهای دو قطعه در محل تماس به منظور ایجاد جاذبه بین اتمهای آنها را جوشکاری می‌نامند.

فرآیندهای جوشکاری به دو دسته کلی شامل: ذوبی و غیرذوبی تقسیم‌بندی می‌شوند که در نمودار ۶-۱موارد مهم و متداول جوشکاری مورد استفاده درصنعت نشان داده شده است. در فرآیندهای جوشکاری ذوبی لبه‌های دو قطعه ذوب می‌شوند و با مذاب حاصل از الکترود یا فلز پرکننده درز، مخلوط شده و پس از انجماد موجب اتصال دو قطعه می‌گردد.

ولی در فرآیندهای جوشکاری غیرذوبی لبه‌های دو قطعه در تماس با هم ذوب نمی‌شوند، بلکه به طور معمول نیروی فشار مکانیکی سبب حذف فاصله اتم‌ها در محل تماس و اتصال آنها می‌گردد.

نمودار ۶-۱: فرآیندهای جوشکاری



در ساخت دیگ‌های بخار لوله‌دودی در کشورمان جوشکاری‌های اصلی بصورت اتوماتیک و یا دستی به روش‌های SMAW و SAW انجام می‌شود. و در پایان هر مرحله تست‌های غیر مخرب بر روی جوش‌ها توسط بازرسین فنی مورد تایید سازمان ملی استاندارد انجام می‌شود.

SMAW

در میان فرآیندهای فوق SMAW به صورت گسترده‌تری مورد استفاده قرار می‌گیرد در این فرآیند از قوس الکتریکی بوجود آمده بین الکترود روپوش‌دار و حوضچه مذاب برای ایجاد گرمای لازم بهره گرفته می‌شود بطوریکه گرمای ایجاد شده بر اثر قوس منجر به ذوب شدن قسمتی از فلز مبنا می‌شود و محافظت بوسیله پوشش ایجاد می‌گردد. در این روش می‌توان از جریان متناوب یا مستقیم با توجه به نوع

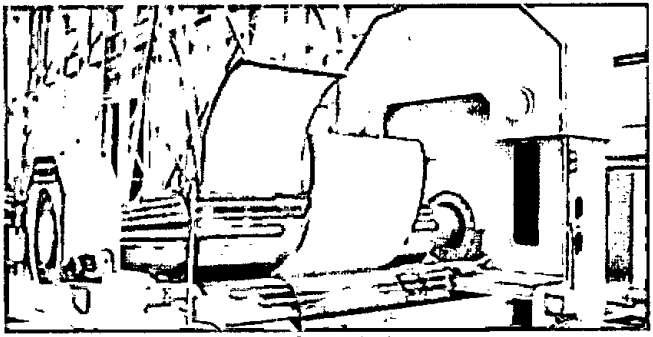
جریان منبع تغذیه و نوع الکترود انتخابی استفاده نمود ضمن آنکه منبع تغذیه با جریان ثابت توصیه می‌گردد.

SAW

در این روش نیز از قوس الکتریکی بین الکترود فلزی (که زیر مواد پوششی قراردارد) وحوضچه مذاب بهره گرفته می‌شود. قوس وفلز مذاب بوسیله پوششی ازمواد گرانولی که بوسیله نازل جوشکاری از داخل مخزن نگهدارنده فلاکس به سطح قطعه کار هدایت می‌شود محافظت می‌شوند.

نورد

نورد فرایندی است که در آن تغییر شکل پلاستیک فلز از طریق عبور آن از بین غلتک‌ها انجام می‌شود. استفاده از غلتک از مرسوم‌ترین روش‌های شکل دادن به حساب می‌آید. از مزایای این روش توانایی تولید بالای آن است. به گونه‌ای که روزانه چند صدتن فلز را می‌توان نورد کرد. محصول نورد احتمالاً محصول نهایی و یا مراحلی از شکل دادن فلز است از جمله فرآورده‌های نورد می‌توان به ورق ، میل گرد و انواع پروفیل با مقطع H، T، I و.... اشاره کرد. دسته‌بندی فرایندهای نورد می‌تواند براساس دستگاه‌های نورد و یا دمای نورد باشد.



شکل ۶-۲: دستگاه نورد

دستگاه نورد

اجزای دستگاه نورد شامل قفسه نورد، غلتک‌ها، یاتاقان‌ها، محفظه‌ای برای محافظت این قطعات و نیروی محرکه‌ای برای به حرکت در آوردن غلتک‌ها است. علاوه براین موارد به تجهیزات مکانیکی و الکتریکی برای کنترل و تنظیم نیرو و سرعت دورانی غلتک‌ها نیز نیاز است.

قفسه‌های نورد معمولاً بر حسب تعدد قالب‌ها و آرایش آنها نسبت به یکدیگر تقسیم‌بندی می‌شوند. در قفسه‌های نورد دو غلتکی جهت چرخش غلتک‌ها دو طرفه است بطوری که با تغییر جهت حرکت آنها ضخامت قطعه در رفت و برگشت قابل کاهش می‌باشد. در این روش قطعه کار بین دو غلتک تغییر شکل داده می‌شود و بیشتر کاهش در سطح مقطع مورد نظر می‌باشد.

ویژگی بارز این روش این است که اولاً محور غلتک‌ها با هم موازی هستند و ثانیاً تغییر شکل در امتداد حرکت عمومی قطعه و عمود غلتک‌ها صورت می‌پذیرد. در حقیقت چون تغییر شکل در امتداد

طول صورت می‌گیرد و به آن نورد طولی می‌گویند. این نوع نورد در صنعت و حتی کارگاه‌های کوچک شکل دهی بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد.

علاوه بر قفسه‌های نورد دو غلتکی، قفسه‌های نورد سه غلتکی، شش غلتکی و اقماری نیز وجود دارند. مزیت قفسه‌های نورد سه غلتکی نسبت به قفسه نورد دوغلتکی در این است که می‌تواند فرایند نورد را بدون تغییر جهت حرکت غلتک‌ها در هر دو جهت رفت و برگشت انجام دهد. علت این امر مخالف بودن جهت حرکت غلتک میانی با جهت حرکت دو غلتک بالایی و پایینی است. انتقال قطعه کار به سمت دهانه‌ی ورودی دو غلتک پایینی و (یا بالایی) میانی توسط میز بالابر انجام می‌پذیرد.

علت استفاده از قفسه نورد چهار غلتکی کاهش نیروی لازم برای نورد و جلوگیری از خم شدن غلتک‌های شکل دهندهٔ کاری هنگام نورد تختال‌ها، تسمه‌های عریض و ورق است. از بین چهار غلتک دو غلتک به عنوان غلتک‌های شکل دهنده (دو غلتک که در تماس مستقیم با قطعه کار هستند) و دو غلتک به عنوان پشتیبان عمل می‌کنند. در غلتک‌های چهار تایی، فقط غلتک‌های کاری توسط نیروی محرکه خارجی حرکت می‌کنند و حرکت دو غلتک پشتیبان بر اثر اصطکاک بین آنها و غلتک‌های کاری است.

گاهی اوقات به منظور کاهش بیشتر احتمال خم شدن غلتک‌های کاری از قفسه‌های نورد شش غلتکی استفاده می‌شود. در این نوع قفسه‌ها، چهار غلتک پشتیبان در اثر اصطکاک با دو غلتک کاری به حرکت در می‌آیند.

قفسه‌های نورد اقماری شامل یک جفت غلتک پشت بند سنگین هستند که توسط تعداد زیادی غلتک‌های کوچک احاطه شده‌اند. از خصوصیات عمده‌ی این نوع قفسه این است که تختال مستقیماً در یک مرحله از دستگاه نورد عبور کرده و تبدیل به تسمه می‌شود. در حقیقت هر غلتک کوچک (غلتک سیاره‌ای) علاوه بر طی مسیر دایره‌ای بین غلتک پشت بند (غلتک پشتیبان) و تختال کاهش نسبتاً ثابت در تختال به‌وجود می‌آورد. هنگامی که یک جفت غلتک اقماری از تماس با قطعه خارج می‌شود، یک جفت غلتک دیگر با قطعه تماس پیدا می‌کند و عمل کاهش ضخامت تکرار می‌شود. کاهش کل از مجموع کاهش‌های کوچکی است که توسط جفت غلتک‌های سیاره‌ای که به سرعت پشت سر هم می‌آیند، ایجاد می‌شود. برای وارد کردن تختال به قفسه‌های نورد اقماری استفاده از غلتک‌های تغذیه ضروری است.

نورد سرد (Cold Rolling): در دمایی پایین‌تر از دمای تبلور مجدد ماده نوردیده اتفاق می‌افتد. نورد سرد تمسه پهن، مناسب‌ترین فرآیند فلزکاری برای تجزیه و تحلیل نظری است و نظریه نورد سرد بسیار توسعه یافته است. بنابراین برخلاف وضعیت کار در فرآیندهای کشش عمیق و تولید لوله‌های کوتاه، در نورد، بار یکنواخت می‌ماند و اثرات شروع و توقف کار روی بار اعمالی کم است.

پشت سر هم قرار دادن چندین دستگاه نورد امری متداول است و مسئله اساسی در این مورد این است که کشش تسمه، در فاصله بین دستگاه‌های نورد در محدوده کوچکی قرار گیرد تا ضخامتی یکنواخت حاصل شود. با کاهش ضخامت تختال، بر طول آن افزوده می‌شود و سرعت خروجی تسمه ممکن است به مقادیر بسیار بالایی تا حدود ۲۵۰ متر بر ثانیه برسد. کنترل کشش توسط انسان از طریق تنظیم سرعت‌های نسبی غلتک‌ها در قفسه‌های مجاور هم ممکن است، اما در حال حاضر در کارخانه‌های بزرگ نورد، برای انجام این کار از کامپیوتر استفاده می‌شود. به علت سرعت‌های بالا و تولید بسیار زیاد دستگاه‌های نورد، برنامه عبور مناسبی که بر مبنای خواص ماده، پذیرش تسمه توسط غلتک‌ها و ظرفیت بار دستگاه تعیین شود از لحاظ اقتصادی بسیار اهمیت دارد.

نورد گرم (Hot Rolling): در دمایی بالاتر از دمای تبلور مجدد انجام می‌شود. کاهش سطح سنگین از طریق نورد گرم یکی از روش‌های عمده تولید میله با سطح مقطع مستطیل، گرد، یا پیچیده‌تر است. این روش از طریق در هم شکستن ساختار ریختگی و ریز کردن اندازه دانه، سبب بهبود خواص فلز ریختگی و در نتیجه همگنی بهتر و مقاومت و سفتی بیشتر آن می‌شود. در خلال نوردکاری و همچنین در بیشتر فرآیندهای آهنگری، در مقایسه با اکستروژن، فشار و تغییر شکل در هر زمان معین به حجم کوچکی از فلز محدود می‌شود، بنابراین می‌توان شمش‌های بسیار سنگین را با استفاده از دستگاه‌هایی با ظرفیت بار متوسط تغییر شکل داد.

شمش به صورت مداوم به داخل دستگاه نورد رانده می‌شود و معمولاً سرعت تولید زیاد است. در اینجا نیز مانند همه عملیات گرم کاری سرعت عمل مسئله‌ای حیاتی است. زیرا قطعه کار بر اثر سرد شدن سخت می‌شود. زمان لازم برای برگشت دادن تختال به قسمت ورودی غلتک‌ها عامل محدودکننده سرعت است اما، این مشکل برای اکثر اندازه‌ها، با استفاده از غلتک‌های دوطرفه، رفع شده است. تختال‌های بسیار کوتاه معمولاً توسط کارگر به عقب برگردانیده می‌شوند، که این خود نیاز به کارگر را بسیار افزایش می‌دهد.

دستگاه نورد گرم برای تولید تختال یا شمشه از شمش‌های فلزی، به دستگاه نورد شمشه مشهور است و معمولاً دو غلتک بزرگ دارد، که به صورت قائم روی یکدیگر قرار دارند. در نتیجه به آن دستگاه نورد دو غلتکه می‌گویند و این در مقایسه با دستگاه‌های چهار غلتکه یا چند غلتکه است که عموماً در عملیات نورد سرد به‌کار می‌روند. از غلتک‌هایی با طرح مخصوصی برای تولید محصولات گرم نوردیده طویل با مقاطع مختلف از قبیل گرد، شش ضلعی، ناودانی، نبشی، تیرآهن، استفاده می‌شود. این مقاطع از نظر اقتصادی بسیار مهم‌اند، زیرا مقدار تولید آن‌ها زیاد است، اما غلتک‌های فوق را معمولاً به طور تجربی و با درنظر گرفتن چند قانون کلی، طراحی می‌کنند.

به طور کلی مسئله عمده در این مورد نیز همانند آهنگری قالب بسته، پر کردن قالب است، که درباره آن مبانی نظری مختصری وجود دارد. در اینجا ارزیابی بارهای کاری برای این قبیل شرایط پیچیده موردنظر نیست، اما می‌توان با استفاده از اطلاعات نظری موجود برای نورد ساده قطعه‌ای تخت با سطح مقطع مشابه تخمین‌های تقریبی زد.

عایق‌بندی و روکش کاری دیگ‌بخار

برای ایزولاسیون دیگ از پشم سنگ فشرده به ضخامت‌های استاندارد و رعایت اصول فنی بطوریکه شیب اختلاف درجه حرارت داخل بویلر و محیط به سمت میرایی و صفر شدن تلفات حرارتی سوق یابد ، پوشش داده میشود.

نوع عایق مصرفی برای دریچه‌های بازدید ایرفکست H می‌باشد. در نهایت بعد از رنگ آمیزی دیگ‌بخار ، از ورق‌های نوع استینلس استیل با ضخامت استاندارد برای فرآیند روکش و کاور دیگ استفاده میگردد.

انواع دیگ‌بخار

الف)دیگ‌های لوله آبی[1]

همگام با توسعه صنعت در قرن گذشته، استفاده از دیگهای بخار با فشار بالا ضرورت پیدا کرد و بنا

[1] فیلم آموزشی شماره۶-۱و۶-۲ را ببینید

به دلایلی، گاهی نیز انفجارهای مصیبت باری به همراه داشته است. آن روزها دیگهای بخار شامل ظروف تحت فشار با قطرهای زیادی بود که تحت فشار داخلی، دچار تنشهای انبساطی در دیواره‌های این ظروف می‌گردید. مقدار این تنش که به نام تنش حلقه‌ای معروف است طبق رابطه۶-۱ محاسبه می‌شود:

$$f=PxD/2T \qquad (۱-۶)$$

که در آن :

f :تنش حلقه‌ای

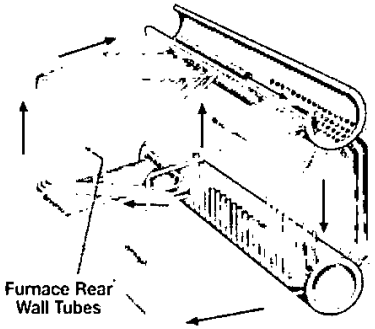
D :قطر ظرف

P :فشار داخلی

T :ضخامت فلز

ملاحظه می‌گردد که در یک تنش مشخص f، با افزایش D (قطر دیگ) برای افزایش ظرفیت دیگ، بایستی T (ضخامت) را افزایش داد. همچنین برای افزایش فشار P دیگ لازم است یا D را کاهش داد یا T را افزایش داد تا مقدار f درحد قابل‌قبول باقی بماند. چنانچه T افزایش یابد، جرم دیگ و هزینه ساخت آن نیز افزایش می‌یابد. جالب‌ترین گزینه، کاهش D می‌باشد که اساس کار دیگهای لوله– آبی است.

در این دیگ‌ها آب، درون لوله‌ها جاری است و گازهای داغ درسطح خارجی لوله‌ها جریان دارند. دیگ‌های لوله آبی متشکل از ظروفی به نام درام هستند که توسط لوله به یکدیگر متصل شده‌اند. آب در درون لوله‌ها گردش کرده و گازهای داغ از اطراف لوله‌ها عبور می‌کنند.



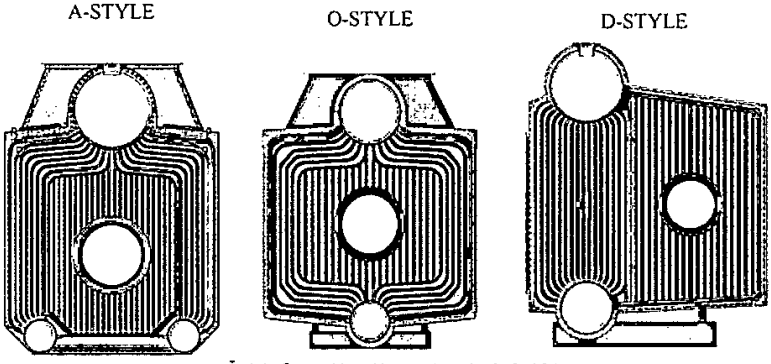
شکل ۶-۳: شماتیک چرخش آب در دیگ لوله آبی

مهم‌ترین مزیت دیگ‌های لوله آبی آزادی در افزایش ظرفیت ساخت آنهاست. دیگ‌های لوله آبی می‌توانند تا ظرفیت نیم تن در ثانیه بخار با فشار ۱۶۰ اتمسفر و دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد تولید کنند. البته دیگ‌های لوله آبی به صورت پکیج و در ابعاد کوچک‌تر نیز ساخته می‌شوند که در صنایع نفت و پتروشیمی کاربرد فراوان دارند.

انتقال حرارت گازهای حاصل از احتراق به لوله‌های حاوی آب از نوع جابجایی می‌باشد. علاوه بر انتقال حرارت به صورت جابجایی لوله‌هایی که در وضعیت عمودی در دیواره‌های محوطه قرار گرفته‌اند و همچنین لوله‌هایی که به صورت افقی در قسمت بام محوطه احتراق قرار گرفته‌اند حرارت را به صورت تشعشعی دریافت می‌کنند. حرارت تشعشعی مانند اشعه موج کوتاه منتقل می‌شود و هرجا که شعله ناشی از اشتعال سوخت در درون محوطه احتراق وجود داشته باشد حرارت به صورت تشعشعی انتقال می‌یابد و این حرارت تنها به وسیله لوله‌هایی که در معرض شعله قرار گرفته‌اند جذب می‌گردد و حرارت موجود در

گازهای حاصل از احتراق از طریق چرخش گازها در محل قرار گرفتن لوله‌ها به آب می‌رسد.

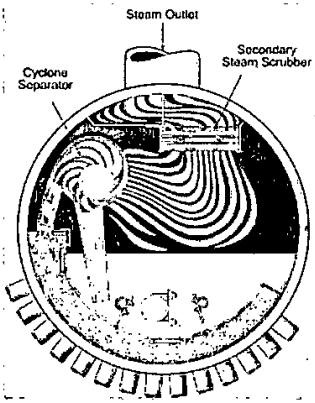
برای رسیدن به ظرفیت‌های مختلف در دیگ‌های لوله آبی لازم است از ۲تا۴ درام با لوله‌های مستقیم و یا خمیده استفاده شود. اکثر دیگ‌های لوله آبی مطابق یکی از ۳ طرح نشان داده شده در شکل۴-۶ ساخته می‌شوند.



شکل ۶-۴: طرح‌های مختلف ساخت دیگ لوله آبی

درام

وظیفه درام جداسازی آب و بخار از یکدیگر می‌باشد. تجهیزاتی که توسط شرکتهای مختلف برای جداسازی بخار به‌کار می‌رود متفاوت بوده ولی اساس کار آنها یکی است. در کلیه این تجهیزات مخلوط آب و بخار وارد جداکننده آب و بخار (Separator) شده و با حرکت چرخشی که به سیال (آب و بخار)داده می‌شود بدلیل نیروی گریز از مرکز که ایجاد می‌شود و قطرات آب بعلت سنگینی وزن از بخار جدا می‌گردند. سپس بخار پس از عبور از صفحات خشک‌کننده آخرین قطرات آب خود را نیز از دست داده و به سمت لوله‌های سوپرهیتر هدایت می‌شود و آب بدون ذرات بخار توسط لوله‌های پایین آورنده به سمت لوله‌های دیوارهای (Water Wall) هدایت می‌شوند.



شکل ۶-۵: شماتیک درام بخار

دومین وظیفه درام عمل نمودن به عنوان یک مخزن و ذخیره‌ای برای بویلر است. درام می‌تواند با ذخیره آب یا بخار در خود، در شرایط بحرانی بهره‌برداری از بویلر مقداری از نیازهای آب یا بخار را تامین نمایید. در درام تقسیم یکنواخت آب ورودی از اکونومایزر و تزریق بعضی از محلولهای شیمیایی به بویلر انجام می‌گیرد. از آنجاییکه فشار داخل درام زیاد است لذا آنرا به شکل استوانه‌ای که از قوانین مخازن تحت‌فشار جدار ضخیم تبعیت می‌کند، طراحی می‌نمایند.

درام بخار از اجزاء مختلفی تشکیل شده است که به دو قسمت داخلی (Internal) و خارجی(External) تقسیم می‌شوند. از آنجاییکه شرح وظایف هریک از اجزا درام بسیار گسترده است لذا

فقط به اسامی اجزاء اصلی آن اشاره می‌شود:

۱- جداکننده آب و بخار
۲- خشک‌کننده آب و بخار
۳- رطوبت گیر
۴- لوله‌های داخلی

درام آب (Water Drum) یا درام پایین(Lower Drum) :

این درام در پایین‌ترین قسمت بویلر قرار گرفته و به شکل یک مخزن استوانه‌ای افقی می‌باشد و در حقیقت بصورت یک هدر عمل می‌کند. پس از جدا شدن آب و بخار در درام، آب به سمت لوله‌های پایین رونده (Down Comer) هدایت شده و وارد درام پایین می‌گردد. وظیفه این درام تقسیم یکنواخت آب تغذیه به لوله‌های دیواره‌ها و Bank Tube می‌باشد. Bank Tube دسته‌ای از لوله‌ها هستند که درام بالا را به درام پایین وصل می‌کنند بطوریکه قسمتی از آنها به صورت Down Comer و قسمتی از آنها بصورت Riser عمل می‌کنند.

لوله‌های بدنه اصلی بویلر(لوله‌های دیواره‌ای)Water Wall Tube

در بویلرهای مدرن هر سه نوع انتقال حرارت جابجایی، هدایت و تشعشع صورت می‌گیرد.که حاصل آن تبدیل آب به بخار در لوله‌های دیواره‌ای است. در این بویلرها معمولاً از لوله‌های عمودی بصورت دیوار یکپارچه استفاده می‌شود. آب درون لوله‌ها با جذب انرژی حرارتی، عمل خنک کاری دیواره‌ها را نیز انجام می‌دهند. بین لوله‌های دیواره‌ای یک نوع نوار فلزی که به فین موسوم است، قرار داده شده است. این فین‌ها رابط بین لوله‌ها بوده که علاوه بر یکپارچه ساختن دیواره‌ها، لوله‌های به‌کار رفته در آن، خود دارای فین بوده و با کنار هم قرار دادن دیواره یکپارچه بوجود می‌آید.

نحوه ساختمان دیواره آبی بستگی به احتراق، شرایط بخار و اندازه بویلر دارد. ترکیب قرار گرفتن لوله‌های واتروال دربویلرهای مختلف به شرح زیر است:

الف) لوله‌های ساده‌ای که در داخل بلوک قرار گرفته‌اند و معمولاً به آنها Boiling Wall می‌گویند.
ب) لوله‌های ساده که نزدیک هم قرار گرفته‌اند و بنام لوله‌های مماسی معروف اند.
ج) لوله‌های فین دار

نقش دیواره آبی درجذب حرارت مورد نیاز برای تولید بخار و مزایای فراوان لوله و فین در این فرآیند، عبارتند از:

توزیع متعادل شار حرارتی در امتداد سطح داخلی لوله‌ها
وجود سطوح گسترده فین که باعث کاهش فلز لوله برای جذب حرارت می‌شود.
عدم نشت محصولات احتراق به خارج از بویلر که علاوه بر کاهش آلودگی محیط بویلر، باعث می‌شود که از فن با قدرت کمتری استفاده گردد.
استحکام دیواره‌ها و لوله‌ها، که باعث می‌شود در اثر تنشهای حرارتی، دچار خمیدگی نشود.
کاهش زمان نصب
کاهش وزن دیواره‌ها و راه‌اندازی ساده‌تر بویلر

به دلیل عدم تماس بین عایق کوره‌ها و محصولات احتراق به عمر عایق‌ها افزوده شده، و جنس آنها

نیز از لحاظ اقتصادی مناسب‌تر خواهد شد. علاوه بر هزینه، تعمیر و نگهداری نیز در این زمینه کاهش می‌یابد.

لوله‌ها می‌توانند به گونه‌ای طراحی شوند که سرعت سیال داخل آن با میزان انتقال حرارت متناسب باشد.

از معایب این نوع دیواره‌ها، گران بودن تولید آنها، نیاز به تخصص زیاد جهت جوشکاری و اتصال لوله‌ها به فین و پرهزینه بودن تعمیرات و تعویض قسمت آسیب دیده دیوار می‌باشد.

در لوله‌های دیواره‌ای همواره جریان آب در داخل لوله از پایین بطرف بالا می‌باشد. و هرچه آب بطرف بالا حرکت می‌کند حرارت بیشتری جذب نموده و در نتیجه بخار بیشتری تولید می‌گردد. در بویلرهای گردش طبیعی (Natural Circulation) این حرکت بصورت طبیعی و بواسطه اختلاف دانسیته آب و مخلوط آب و بخار صورت می‌گیرد. در سیستم گردش اجباری برای چرخش آب از پمپ‌های گردش اجباری (Forced Circulation Pump) استفاده می‌کنند.

لازم به ذکر است که تمام آب خروجی از لوله به بخار تبدیل نمی‌شود بلکه درصدی از آن به بخار تبدیل می‌شود. این درصد بخار بستگی به عدد چرخش (Circulation Number) بویلر دارد. بطوریکه هرچه عدد چرخش بویلر کمتر باشد میزان درصد بخار خروجی از لوله‌های دیواره‌ای بیشتر است.

مثلاً وقتیکه می‌گوییم عدد چرخش یک بویلر ۴ است یعنی اینکه اگر یک کیلوگرم آب در بویلر به بخار تبدیل شود باید ۴ بار در لوله‌های دیواره‌ای و Down Comer به حرکت درآید یا به عبارتی به ازای هر بار چرخش ۲۵٪ آن به بخار تبدیل می‌شود.

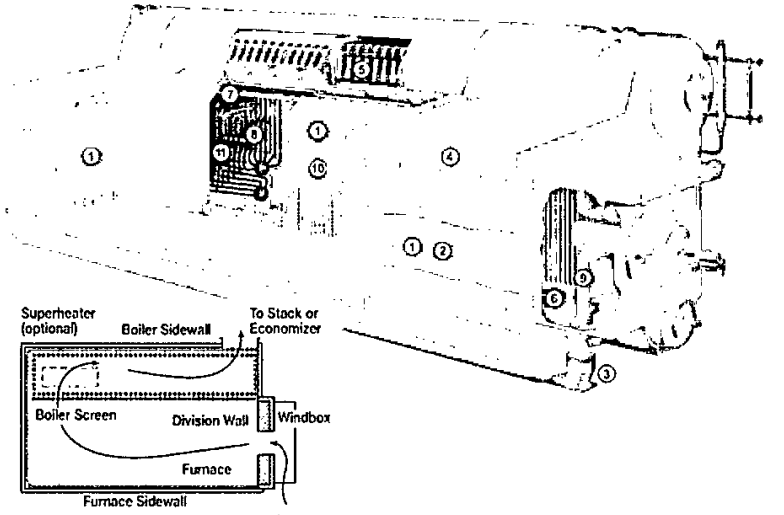
برای بویلرهای درام‌دار عدد چرخش از۳ الی ۱۰ می‌باشد و در بویلرهای بدون درام ۱ می‌باشد. با افزایش عدد چرخش حجم بویلر افزایش می‌یابد، زیرا کیفیت بخار کم شده و تعداد دفعات چرخش آب در بویلر برای تبدیل آب به بخار، بیشتر می‌شود. همچنین با افزایش عدد چرخش احتمال سوختن لوله‌های بویلر کم می‌گردد و بهره‌برداری مطمئن‌تر است.

لوله‌های بالابر(Riser Pipe):

وظیفه آنها به عنوان انتقال دهنده آب و بخار از هدرهای خروجی لوله‌های دیواره‌ای به درام می‌باشد. لذا می‌توان گفت Riser Pipe واسطه‌ای بین هدر دیواره‌ها و درام بخار است. زیرا اگر لوله‌های دیواره‌ای بطور مستقیم به درام وصل شوند به دلیل کثرت تعداد آنها، تعداد سوراخهای ایجاد شده در روی سطح درام بسیار زیاد می‌شود که حاصل آن ساخت درام با ضخامت بسیار زیاد می‌شود. لذا برای جلوگیری از این پدیده، آب و بخار جاری در لوله‌های دیواره‌ای، ابتدا در هدرهای خروجی جمع آوری شده، سپس توسط چند لوله Riser که تعداد آنها نسبت به لوله‌های دیواره‌ای بسیار کمتر است به سمت درام هدایت می‌شود.

لوله‌های انتقال دهنده بخاراشباع(Saturated Steam Pipe) :

وظیفه آنها انتقال بخار از درام تا هدر ورودی سوپرهیتر می‌باشد. بخاری که بعد از درام مجدداً حرارت داده می‌شود بخار خشک نامیده می‌شود که اصطلاحاً کیفیت آن ۱۰۰٪ است.



1) Furnace wall water cooling
2) Gas-tight setting membrane
3) Rugged steel-base frame
4) Outer lagging
5) Drum internals
6) Water wash troughs and drains
7) Grooved tube seats
8) Sootblowers
9) Front wall fire brick
10) Membraned division wall
11) Superheaters

شکل ۶-۶: بخش‌های مختلف یک دیگ لوله آبی پکیج *D-STYLE*

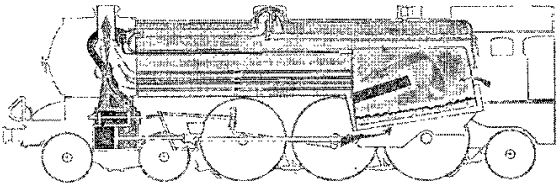
دیگ‌های بدون درام(یکبار گذر)

بویلرهای بدون درام دارای فشار فوق بحرانی می‌باشند و به بویلرهای بنسون معروف‌اند. در این نوع بویلر طراحی مجموعه محوطه احتراق و لوله‌های دیواره‌ای به نحوی است که کلیهٔ آب تغذیه‌کننده موجود در لوله‌های دیواره‌ای پس از طی محوطه احتراق و لوله‌های دیواره‌ای به بخار تبدیل شده و مستقیماً به سمت سوپرهیترها هدایت می‌گردند، لذا این بویلرها بدون درام هستند. از آنجاییکه بویلرهای بنسون دارای فشار بالایی هستند، تکنولوژی پیشرفته‌ای برای ساخت آنها مورد نیاز است، ولی به علت عدم وجود درام، وزن کمتری نسبت به بویلرهای زیر فشار بحرانی (درام دار) دارند. در بویلرهای بنسون حجم مشخصی از آب تغذیه با یکبار گردش در بویلر باید به بخار تبدیل شود. به عبارت دیگر عدد سیرکولاسیون، یک می‌باشد. ولی از آنجا که این بویلرها بالای فشار بحرانی کار می‌کنند، برای افزایش طول لوله‌های دیواره‌ای، بر خلاف بویلرهای درام دار لوله‌ها را به صورت مورب در روی دیواره‌ها طراحی می‌کنند تا ارتفاع بویلر کاهش یابد. همچنین ضخامت لوله‌های دیواره‌ای به علت بالا بودن فشار، بیشتر از ضخامت لوله‌های بویلرهای درام دار است. در ابتدای راه‌اندازی بویلرهای بنسون برای جداسازی آب و بخار از سیکلون استفاده می‌کنند که با استفاده از خاصیت گریز از مرکز، آب و بخار را از هم جدا می‌کند و در حالت کارکرد دائم بویلر، از مدار خارج می‌گردند. همچنین به علت پایین بودن عدد سیرکولاسیون کنترل آنها نسبت به بویلرهای درام دار دشوارتر است و به دلیل نداشتن درام در شرایط اضطراری ذخیره آب و بخار نخواهند داشت.

ب)دیگ‌های لوله دودی

دیگ‌های لوکوموتیوی

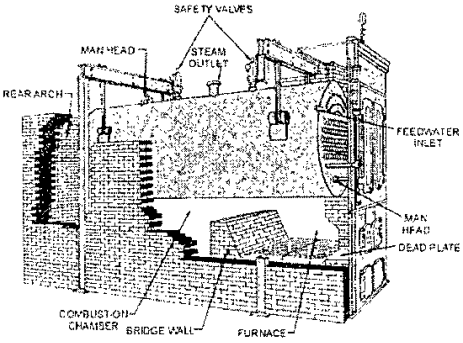
این نوع دیگ‌بخار که دیگر تولید نمی‌شود، یک نوع دیگ‌بخار لوله دودی درون سوز است. کوره دیگ یک محفظه مکعب مستطیل شکل است و قسمت بالای آن توسط مهارهای شعاعی پیچ شده به صفحه تاجی و ورق لفاف خارجی مهار گردیده است. سوخت متداول این نوع بویلر ذغال سنگ است و راندمان نسبتاً پایینی دارد.



شکل ۶-۷: شماتیک دیگ‌بخار لوکوموتیوی

دیگ‌های(HRT)

این نوع دیگ‌های بخار شامل یک پوسته استوانه‌ای می‌باشد که به طور معمول امروزه جوشکاری می‌شود. لوله‌های با قطر یکسان در سرتاسر طول پوسته و درون فضای محتوی آب قرار گرفته است. فضای بالای سطح آب جهت جدا شدن بخارآب و ذخیره آن می‌باشد. به طور معمول یک صفحه مانع در خروجی تعبیه می‌گردد تا بخار هرچه خشک‌تری حاصل شود. این نوع دیگ‌های بخار نیز از رده خارج شده‌اند و دیگر کاربرد ندارند.

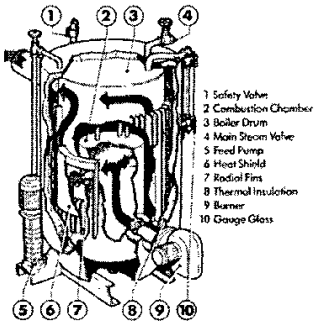


شکل ۶-۸: شماتیک دیگ‌بخار *HRT*

دیگ‌های ایستاده[1]

دیگ‌های بخار ایستاده همانطور که از اسم آنها پیداست دارای ارتفاع بزرگ‌تر از قطر دیگ هستند. بویلر بخار ایستاده برای تولید بخار در فضاهای کوچک مانند سونای‌بخار، تولید قارچ، آشپرخانه‌های صنعتی کوچک، صنایع غذایی کوچک و سایر جاهایی که محدودیت فضا وجود دارد استفاده می‌شوند.

طرز کار این دیگ‌ها به این صورت می‌باشد که مشعل که در پایین دیگ قرار می‌گیرد آتش را وارد کورهٔ دیگ می‌کنند و آتش از طریق پاس لوله‌های درون آن به بالای دیگ و دودکش هدایت می‌شود. از این طریق آب درون



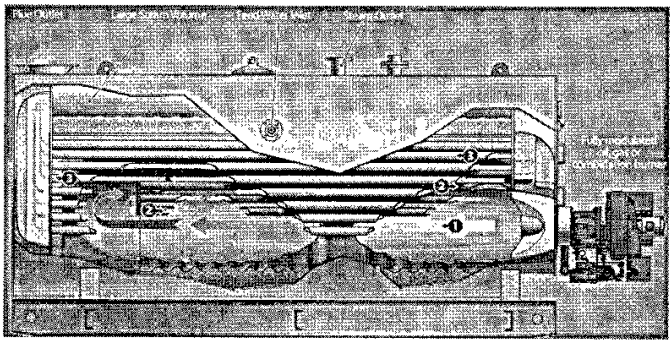
شکل ۶-۹: اجزاء دیگ‌بخار ایستاده

1- Vertical Steam Boiler

دیگ، دور لوله‌ها و کوره، گرم شده و به بخار تبدیل شده و از خروجی بخار در بالای آن خارج می‌شود. این دیگها برای تولید بخار در فشارها و ظرفیت‌های کم است که معمولاً برای استفاده در استخرها، خشک شویی‌ها، برای ضد عفونی وسایل بیمارستانی (اتوکلاو)، در صنایع غذایی، صنایع چرم، بتن‌گیری و ... استفاده می‌شود. این نوع دیگ‌های بخار از ظرفیت ۱۰۰ کیلوگرم بخار در ساعت تا ۵۰۰ کیلوگرم بخار در ساعت تولید می‌شوند.

دیگ‌های اقتصادی

این نوع دیگ‌های بخار معمولاً، شامل بدنه اصلی، صفحه - لوله‌های جلو و عقب، کوره و اطاقک برگشت می‌باشد که پس از مونتاژ و جوشکاری ابتدا کامل مورد آزمایش‌های غیر مخرب (پرتونگاری، اولتراسونیک، مایع نافذ و...) قرار گرفته و سپس عملیات تنش‌گیری آنها در کوره مخصوص انجام می‌گیرد. دیگ‌های فوق دارای دو پاس لوله‌اند که همراه کوره، جمعاً دارای سه پاس حرارتی می‌باشند.



شکل ۶-۱۰: شماتیک دیگ لوله دودی ۳ پاس

پاس اول شامل کوره می‌باشد که به صفحه— لوله جلو دیگ و جلو محفظه برگشت اکسپند و جوشکاری شده است. پاس دوم شامل لوله‌هایی که از اطاقک برگشت به صفحه— لوله جلو دیگ و پاس سوم شامل لوله‌هایی از صفحه— لوله جلو به صفحه- لوله عقب می‌باشد. شعله در کوره تشکیل می‌گردد و مواد حاصل از احتراق با عبور از لوله‌های پاس ۲و۳ و جعبه دودهای جلو عقب، از طریق دودکش خارج می‌شود و درطی این مسیر، آب در اثر جذب انرژی گرمای حاصل از احتراق سوخت، به بیشترین درجه حرارت ممکن می‌رسد. در بدنه دیگ‌های بخار دریچه‌های دست‌رو، آدم‌رو و لایروبی وجود دارند که هر کدام دارای یک درب متحرک بوده و توسط واشر گرافیتی آب‌بندی می‌گردند. جعبه دودهای جلو و عقب دیگ برای تعمیر، تعویض یا تمیز کاری لوله‌ها پیش‌بینی شده‌اند. لوله‌های پاس ۲و۳ با روش گشادکردن انتهای لوله‌ها (والس زدن)، آب‌بندی می‌گردند و سپس دیگ را تحت آزمایش هیدرواستاتیک تا ۱/۵ برابر فشار طراحی قرار می‌دهند. پس از نصب دیگ روی شاسی و مونتاژ جعبه دودها، کلیه سطوح خارجی پس از سند پلاست با لایه‌ای از ضد زنگ نسوز پوشش داده می‌شود و سپس عایق کاری آن توسط پشم سنگ با ضخامتی حداقل برابر ۳۰ میلی‌متر با لایه‌ای

از ورق محافظ صورت می‌پذیرد. پس از پایان این مراحل، بخشهای مختلف توسط واحدهای کنترل کیفی مورد بازرسی دقیق قرار می‌گیرند و تأییدیه لازم را دریافت می‌نمایند. در مراحل بعد، نصب شیرها، مشعل، سیستم برق و کنترل دیگ انجام می‌گردد و پس از آزمایش بخار (تست گرم) و تنظیم نهایی، دیگ رنگ‌آمیزی می‌شود. نگهداری وتعمیرات دیگ به ویژه در قسمتهای که به آنها اشاره خواهد شد دارای حساسیتی خاص بوده و لازم است در مراحل مختلف دقت لازم معمول گردد.

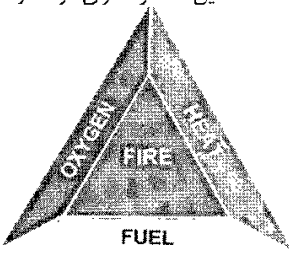
فصل ۷
آتشکاری، سوخت و مشعل

احتراق[1]

احتراق سوخت در واقع اکسیدشدن سوخت در حضور اکسیژن است. اما این اکسیدشدن زمانی احتراق است که همراه با نور و حرارت باشد. به عبارت دیگر هر نوع اکسیداسیون مواد که نور و حرارت به همراه داشته باشد احتراق نامیده می‌شود.بنابراین اکسیدشدن فلزاتی مثل آهن در حضور اکسیژن(زنگ‌زدن آهن) احتراق نیست.

فرآیند احتراق یک فرآیند شیمیایی شامل کربن، هیدرژن و اکسیژن است. البته گوگرد نیز در اثر سوختن منبع انرژی گرمایی است اما وجود آن در سوخت تاثیرات سوئی را به همراه خواهد داشت. سوخت‌ها می‌توانند به صورت جامد، مایع و یا گاز باشند. از آنجاییکه سوخت‌های ذغال سنگی و دیگ‌های چوب سوز در کشورمان کاربرد ندارند در این فصل صرفاً به توضیح سوخت‌های گاز و مایع می‌پردازیم.

همانطور که می‌دانیم برای تشکیل شعله به مثلث آتش[2] (سوخت، هوا، حرارت) احتیاج است. اجماع این سه عنصر(مثلث آتش)سبب احتراق در بویلر شده و چنانچه هر یک از میان برود شعله خاموش می‌شود. اجماع این سه عنصر در بویلرها توسط مشعل صورت می‌گیرد[3]. مشعل به کمک یک جرقه‌زن و دمنده حرارت و هوای مورد نیاز را تامین کرده و با توجه به نوع سوخت(مایع یا گاز) به کمک پمپ گازوئیل و یا شیر برقی گاز، سوخت نیز وارد می‌شود. بدین ترتیب شعله تشکیل شده و احتراق مواد سوختی صورت می‌گیرد.



شکل ۷-۱: مثلث آتش

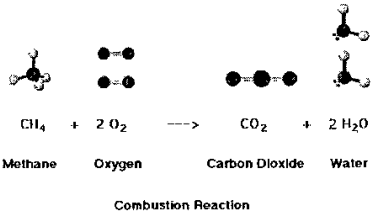
1- Combustion
2- Fire Triangle

[3] فیلم آموزشی شماره۷-۱ را ببینید

اما برای آنکه این احتراق به شکل صحیح انجام گیرد سه شرط ضروری وجود دارد:

۱- تناسب مناسب سوخت و اکسیژن

احتراق کامل سوخت حاصل تنظیم دقیق نسبت سوخت و هوا است. هرچه این نسبت با دقت بیشتری تنظیم شود راندمان بالاتر رفته و در نتیجه به سوخت کمتری احتیاج است. در مشعل‌های کوچک تنظیم هوا دستی است و در مشعل‌های بزرگ به کمک دمپر اتوماتیک هوای مورد نیاز احتراق تامین می‌شود. البته با توجه به آنکه دمای هوای دیگ‌خانه و رطوبت آن در طول سال متغیر است در مشعل‌های بزرگ نیاز است که در هر فصل دمپرها مورد تنظیم مجدد قرار گیرد. امروزه مشعل‌های مدرن مجهز به یک PLC هستند که به صورت اتوماتیک نسبت بین سوخت و هوا را در تمام طول شبانه روز و تمام فصول تنظیم می‌کنند.



شکل ۷-۲: معادله احتراق متان

۲- اختلاط کامل سوخت و اکسیژن

برای آنکه راندمان احتراق بالا نگه داشته شود باید هر ذره سوخت در اطراف خود به اندازه کافی اکسیژن داشته باشد. به همین منظور در سوخت‌های مایع به کمک یک پمپ جابجایی مستقیم(دنده‌ای) فشار قوی و تزریق سوخت توسط نازل‌های مخصوص سوخت مایع به صورت پودر در می‌آید. (اتمیزه[1] می‌شود) بهترین اندازه ذرات سوخت مایع بین ۲۰-۴۰ میکرون است. بدین ترتیب اختلاط سوخت و هوا بهبود پیدا کرده و راندمان احتراق بهبود می‌یابد. در سوخت‌های جامد(ذغال سنگ) نیز برای برای اختلاط مناسب سوخت و هوا از روش ساییدن ذغال‌سنگ استفاده می‌شود.

اگر شرایط فوق در تناسب و اختلاط کامل صورت نگیرد سبب کاهش و یا افزایش طول شعله از میزان مورد نیاز می‌شود. هوای کم نیز سبب احتراق ناقص شده و بخشی از سوخت محترق نشده و در نتیجه انرژی سوخت به‌طور کامل آزاد نمی‌شود بدین ترتیب بخشی از انرژی سوخت محترق نشده و از اگزوز خارج شده و به هدر می‌رود. بدین ترتیب گاز مونواکسید کربن به جای دی‌اکسیدکربن از اگزوز خارج شده و علاوه بر آنکه هزینه‌های انرژی را افزایش می‌دهد هوا را نیز آلوده می‌کند.

۳- حفظ دمای اشتعال

دمای محیط نیروی لازم برای برخورد مولکول‌های اکسیژن و کربن و شکسته شدن پیوند را ندارد. برای آنکه سوخت بتواند بدون احتیاج به گرمای خارجی به اشتعال خود تداوم بخشد باید دمای اشتعال حفظ شود.

1- Atomize

مواد سوختی

نفت خامی که از زمین استخراج می‌شود، مایع سیاه رنگی است که پترولیوم[1] خوانده می‌شود. این مایع شامل هیدروکربن‌های آلیفاتیک یا به عبارتی هیدروکربن‌هایی است که فقط شامل هیدروژن و کربن هستند. اتم‌های کربن در زنجیره‌هایی با طول‌های مختلف به یکدیگر پیوند خورده‌اند.

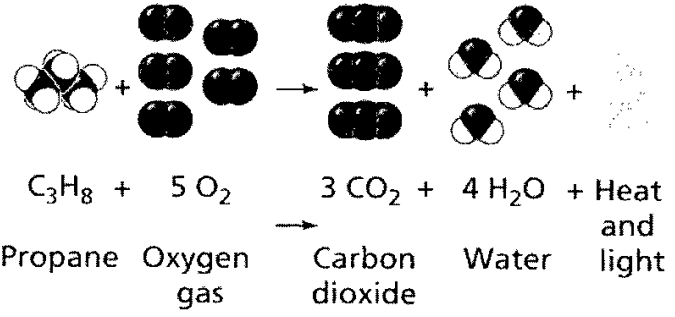
امروزه می‌دانیم که مولکولهای هیدروکربن با طولهای مختلف دارای خواص و رفتار متفاوت هستند. برای مثال زنجیره‌ای با فقط یک اتم کربن(CH_4) سبک‌ترین زنجیره هیدروکربنی به نام متان را می‌سازد. متان گازی چنان سبک است که مانند هیدروژن شناور می‌شود. با طویل‌تر شدن زنجیره، مولکول نیز سنگین‌تر می‌شود.

چهار زنجیره نخست CH_4 - متان، C_2H_6- اتان، C_3H_8 - پروپان و C_4H_{10} — بوتان حالت گازی دارند و نقطه جوش آنها به ترتیب ۱۰۷-، ۶۷-، ۴۳- و ۱۸- درجه سانتی‌گراد است. زنجیره‌های بالاتر از $C_{18}H_{32}$ تماماً در دمای اتاق مایع هستند و زنجیره‌های بالاتر از C_{19} در دمای اتاق جامدند.

تمام تفاوت میان سوخت‌ها و روغن‌های هیدروکربنی مختلف از درجه جوش آنها ناشی می‌شود. زنجیره‌های موجود در C_5، C_6وC_7 بسیار سبک بوده و براحتی تبخیر می‌شوند. به این هیدروکربنهای مایع نفتاس گفته می‌شود. این مایعات به عنوان حلال استفاده می‌شوند. از آنها برای ساختن حلال رنگ و سایر محصولات سریع خشک شونده نیز استفاده می‌شود.

شیمی احتراق

همانطور که گفتیم در شرایطی که احتراق در حضور اکسیژن کافی انجام پذیرد، تمام کربن موجود در این سوخت‌ها به دی‌اکسیدکربن تبدیل شده و می‌گوییم واکنش احتراق به صورت کامل انجام گرفته است. در غیر این صورت قسمتی و یا تمام کربن موجود در سوخت به مونواکسید تبدیل شده و می‌گوییم واکنش سوختن با کمبود اکسیژن همراه بوده و به صورت ناقص انجام شده است. در فرآیند احتراق کربن سوخت با اکسیژن ترکیب شده و دی‌اکسیدکربن آزاد میکند. هیدرژن نیز با اکسیژن ترکیب شده و آب تولید می‌کند. بنابراین در پایان فرآیند احتراق گرما آزاد شده و بخشی از انرژی آزاد شده آب را بخار می‌کند و بخار آب که از محصولات احتراق است تشکیل می‌شود.



شکل ۷-۳: معادله احتراق پروپان

این بخار آب باید تا پایان آخرین پاس و خروج از بویلر بخار باقی بماند و دمای اگزوز باید همواره

1- Petroleum

بالاتر از نقطه شبنم نگه داشته شود تا کندانس تشکیل نشود در غیر این صورت پدیده خوردگی نقطه شبنم اسیدی به‌وجود می‌آید. این اتفاق به خصوص در بویلرهای مجهز به اکونومایزر دارای اهمیت بیشتری است زیرا اکونومایز دمای گازهای خروجی را کاهش داده و خطر کندانس شدن را بالا می‌برد.

این نوع خوردگی شامل کندانس‌های بخار اسیدی است که عمده آن اسید سولفوریک است که بر سطح ماده حمله می‌کند. این اسید در دمای پایین‌تر از نقطه شبنم کندانس می‌شود. در سوخت‌های مایع که گوگرد دارند در گازهای خروجی طی عملیات احتراق بویلر گازهایSO_2 و SO_3 تشکیل می‌شود. تشکیل اسید سولفوریک به تعادل میان تری‌اکسیدگوگرد و بخار آب و H_2SO_4 در گازهای خروجی بستگی دارد :

$$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$$

پایین‌ترآمدن دما از نقطه شبنم باعث می‌شود این اسید کندانس شود. نقطه شبنم‌های بالاتر که با افزایش میزان اسید سولفوریک رخ می‌دهند باعث مشکلات بیشتری می‌شوند زیرا در این صورت اسید در دمای بالاتری کندانس می‌شود. نقطه شبنم اسید از نقطه شبنم آب بالاتر است در دمای بین نقطه شبنم اسید سولفوریک و آب ممکن است اسید کلریدریک موجود در گازها کندانس شوند که از کلریدهای ریکاوری بویلر منشاء می‌گیرد. NaCl می‌تواند با SO_2 و به صورت زیر واکنش دهد:

$$NaCl\ (g) + H_2O + SO_2 + 1/2\ O_2 \rightarrow Na_2SO_4(g) + 2\ HCl$$

کندانس شدن اسید کلریدریک باعث شتاب بخشیدن به روند خوردگی در دماهای پایین‌تر می‌شود. در دماهای پایین‌تر ممکن است کندانس آب باعث عرق کردن و گسترده شدن خوردگی گردد .

گازهای خروجی که میزان H_2SO_4 آنها زیادتر است دمای نقطه شبنم بالاتری دارند و احتمال خوردگی را افزایش می‌دهند. بالاتر بودن غلظت H_2O و SO_3 باعث افزایش تولیدH_2SO_4 می شود بنابراین نقطه شبنم افزایش می‌یابد. نقطه شبنم به فشار H_2O و SO_3 از طریق معادله ورهوف بستگی دارد.

ارزش حرارتی سوخت

ارزش حراتی یک سوخت برابر میزان گرمای آزاد شده از آن در اثر احترق بر واحد جرم(سوخت مایع) و بر واحد حجم(سوخت گاز) آن سوخت اعلام می‌شود. اندازه‌گیری ارزش حرارتی سوخت‌ها توسط بمب کالری متر اندازه‌گیری می‌شود که در آن محصولات احتراق پس از احتراق تا دمای معمولی و شرایط اتمسفریک سرد می‌شود. بخار آب ایجاد شده در محصولات احتراق نیز کندانس شده و کل حرارت بدست آمده اندازه‌گیری می‌شود. در طی این فرآیند حرارت نهان تبخیر آب (Latent Heat) نیز در نظر گرفته می‌شود. نتایج ارزش حرارتی بدست آمده از این قبیل تست‌ها به عنوان ارزش حرارتی ناخالص (Gross Heating Value) محسوب می‌گردد. لذا مقدار ارزش حرارتی خالص یا (Net Heating Value) با کسر مقدار Latent heat آب بدست می‌آید. در اروپا به این دو ارزش حرارتی، ارزش حرارتی بالا(HHV[1]) و ارزش حرارتی پایین (LHV[2])اطلاق می‌شود.

هوای مورد نیاز احتراق

موازنه معادله احتراق پروپان(شکل۷-۳) و متان(شکل۷-۲) نشان می‌دهد که برای احتراق یک مول متان به دو مول اکسیژن و برای احتراق یک مول پروپان به پنج مول اکسیژن نیاز است. از آنجاییکه

1- Higher heating value
2- lower heating value

حدود یک پنجم از حجم هوا(۲۳٪) اکسیژن و چهار پنجم آن(۷۷٪) نیتروژن است.(نیتروژن یا ازت یکی از عناصر شیمیایی در جدول تناوبی است که نماد آن N و عدد اتمی آن ۷ است. نیتروژن به صورت یک گاز، دو اتمی بی اثر، بی رنگ، بی‌مزه و بی‌بو است و عنصر اصلی در بافتهای زنده است) با لحاظ نمودن روابط فوق به این نتیجه می‌رسیم که جهت سوزاندن کامل ۱ فوت مکعب متان به ۲ فوت مکعب اکسیژن و ۸ فوت مکعب نیتروژن (۱۰ فوت مکعب هوا) و جهت سوزاندن کامل ۱ فوت مکعب پروپان به ۵ فوت مکعب اکسیژن و ۲۰ فوت مکعب نیتروژن (۲۵ فوت مکعب هوا) احتیاج است. در نتیجه تغییر سوخت به تغییر متغیرهای احتراق می‌انجامد.

درهوا اکسیژن و ازت با هم به حالت ترکیب نیستند و در احتراق براحتی از هم جدا شده و اکسیژن با سوخت ترکیب می‌شود و ازت به همان حالت اولیه باقی می‌ماند.(به اصطلاح اهل فن نیترژن سواری مجانی می‌گیرد)

تجربه نشان می‌دهد که با مصرف مقداری از هوا که دقیقاً شامل همان مقدار اکسیژن باشد که لازم داریم احتراق کامل بدست نخواهد آمد زیرا برای ترکیب اکسیژن با عناصر سوخت باید مولکول‌های اکسیژن با اتم سوخت در تماس واقعی فیزیکی باشند، اما علاوه‌بر مولکول‌های اکسیژن موجود چهار برابر آن مولکولهای ازت نیز درمحیط موجودند که به احتراق کمک نمی‌کنند و سبب می‌شوند که مولکول‌های اکسیژن نتوانند بخوبی با اتم‌های سوخت تماس بگیرند، ضمناً همانطور که احتراق صورت می‌گیرد و عمل احتراق ادامه پیدا می‌کند از مقدار مولکول‌های آزاد اکسیژن کاسته شده و علاوه بر ازت مولکول‌های H2. SO2. CO2 را نیز در محیط خواهیم داشت. در این شرایط تماس مولکول‌های اکسیژن با بقیه اتم‌های عناصر سوخت مشکل‌تر می‌شود بنابراین در عمل احتراق کامل موقعی صورت می‌گیرد که مقدار هوائی بیشتر از مقدار هوای تئوری مصرف کنیم.

بنابراین اگر هوای اضافه موجود نباشد مقدرای از سوخت بطور کامل محترق نمی‌شود و از مقدار حرارت که باید بدست آید کاسته می‌شود. اما باید به این نکته نیز دقت نمود که اگر هوای اضافه بیش از نیاز به کوره رسانده شود هوای باقیمانده پس از احتراق در عبور از کوره مقداری حرارت جذب کرده و با خود به دودکش می‌برد. دمای هوای احتراق می‌تواند شدیداً بازدهی دیگ بخار را تحت تأثیر قراردهد و باید به آن توجه ویژه‌ای داشت.

بنابراین هوای اضافه یکی از دلایل افزایش دمای اگزوز است که به غلط بعضاً به تصور آنکه رسوب روی محیط حرارتی بویلر سبب افزایش دمای اگزوز شده به آن توجه کافی نمی‌شود.

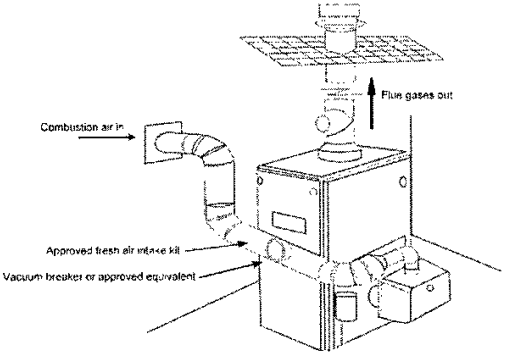
البته تنظیم هوای اضافی برای مشعل به دمای هوای دیگ‌خانه وابسته است و با تغییر دما و رطوبت محیط در فصول مختلف میزان هوای اضافی نیز تغییر می‌کند.

مطابق مبحث۱۴ مقررات ملی ساختمان حداقل فضای مناسب جهت نصب دستگاه‌های با سوخت مایع یا گاز مانند مشعل باید بیش از یک مترمکعب به ازای هر ۱۷۷ کیلو کالری در ساعت(۵۰فوت مکعب برای هر ۱۰۰۰ بی تی یو در ساعت)باشد تا با تعویض هوای طبیعی و با نفوذ هوا به داخل آن فضا تامین هوای احتراق مورد نیاز مشعل تامین گردد.

برای ورود هوای تازه به موتور خانه باید موتور خانه مجهز به پنجره باشد تا بدین ترتیب هوای تازه بتواند وارد موتور خانه شود. در موتورخانه‌هایی که ظرفیت مشعل کوچکتر از ۴۰,۰۰۰ کیلوکالری در ساعت است به پنجره‌ای با سطح حداقل۳۰۰ سانتی‌متر مربع نیاز است. در مشعل‌های بزرگ‌تر به ازاء هر ۱۰۰۰ کیلوکالری ۳ سانتی‌متر مربع باید به سطح پنجره اضافه نمود.

همچنین در دیگ‌خانه‌هایی که در طبقات زیر همکف هستند و یا در محل‌هایی که امکان نصب

پنجره به محیط آزاد وجود ندارد می‌بایست یا با کانال‌کشی و نصب فن هوای تازه مورد نیاز مشعل را به دیگ‌خانه دمید و یا برای مشعل لوله مکش مجزا نصب نمود.



شکل ۷-۴: شماتیک لوله مکش هوای مشعل

شعله[1]

تشکیل شعله در مشعل دارای فاکتورهایی است که از آن جمله می‌توان به سرعت شعله، شکل شعله، پایداری شعله، بالا پریدگی شعله، پس زدگی شعله، نوک زردی شعله و ... اشاره نمود. این مهم را در ادامه در مشعل‌های مایع سوز و گاز سوز به تفصیل بررسی خواهیم کرد.

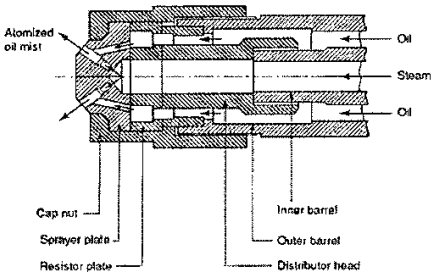
مشعل‌های مایع سوز

همانطور که گفتیم برای اختلاط صحیح سوخت مایع باید سوخت اتمیزه شود. مشعل‌های مایع سوز از لحاظ نوع اتمیزه کردن سوخت به۴ نوع تقسیم بندی می‌شوند.

۱- مشعل‌های اتمیزه با بخارSTEAM-ATOMISED
۲- مشعل‌های فشار پایین اتمیزه با هواLOW PRESSURE AIR ATOMISING
۳- مشعل‌های روتاری کاپ ROTARY CUP
۴- مشعل‌های پرشرجتPRESSURE JET

اتمیزه با بخار

سوخت توسط پمپ با فشاری کمتر از ۶ بار به سمت نازل هدایت می‌شود از طرف دیگر بخار نیز در دهانه نازل تخلیه گردیده و نهایتاً پس از مخلوط شدن و در اثر فشار انبساط بخار سوخت اتمیزه شده و از دهانه نازل تخلیه می‌شود. این نوع مشعل برای ظرفیت‌های بزرگ کاربرد دارد و در دیگ‌های بخار صنعتی و دیگ‌های آب‌گرم در کشورمان کاربرد ندارند. عملکرد این مشعل‌ها سبب می‌شود با تغییرات کیفیت سوخت به خوبی



شکل ۷-۵: شماتیک نازل اتمیزه با بخار

1- Flame

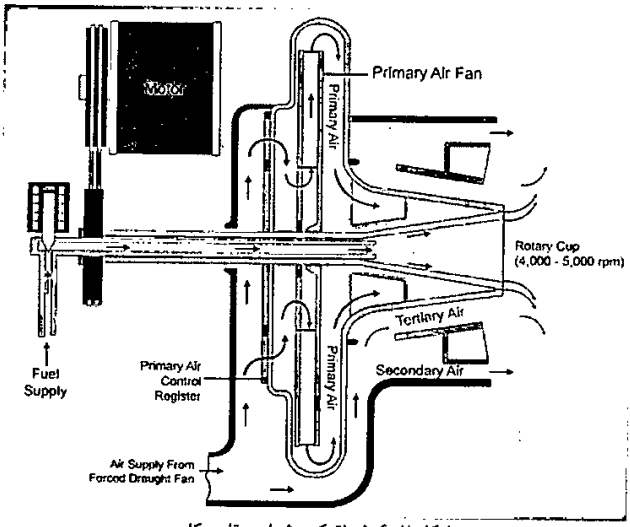
کنار بیاید و محدوده وسیعی از سوخت‌ها را پوشش دهد. البته هزینه اولیه خرید آنها بالا بوده و آغاز پروسه احتراق در آنها دشوار است.

فشار پایین اتمیزه با هوا

سوخت توسط پمپ با فشاری بین ۰/۲-۰/۵ بار به سمت نازل هدایت می‌شود از طرف دیگر هوای فشرده با فشار زیاد سوخت را اتمیزه کرده و از دهانه نازل تخلیه می‌کند. این نوع مشعل عمدتاً برای کوره‌های بسیار بزرگ و داغ همچون کوره‌های سیمان بکار گرفته می‌شود.

روتاری کاپ[1]

گرد کردن سوخت در مشعل‌های روتاری کاپ از طریق پاره کردن لایه نازک از سوخت نفتی و تبدیل آن به قطرات ریز توسط نیروی گریز از مرکز انجام می‌گیرد. سوخت در این مشعل‌ها با فشاری حدود۲/۵ بار به سمت دهانه مخروطی شکلی که با سرعتی بین ۴۰۰۰-۵۰۰۰ دور در دقیه در گردش است هدایت می‌شود. نهایتاً فیلم سوخت تشکیل شده در جدار مخروط در حال دوران با هوای ارسالی با سرعت بالا از طریق فن ثانویه اتمیزه شده و به سمت محفظه احتراق هدایت می‌گردد.



شکل ۷-۶: شماتیک مشعل روتاری کاپ

این عملکرد سبب می‌شود تغییر ویسکوزیه سوخت تاثیری در عملکرد مشعل نداشته باشد. و بر همین اساس برای سوخت مازوت و همچنین گازوئیل در دیگ‌خانه‌هایی که در منطق سرد هستند بهترین گزینه‌اند. از طرف دیگر مشعل‌های روتاری کاپ TURN DOWN RATIO بسیار خوبی دارند.

TURN DOWN RATIO عبارت است از عددی که نسبت توان حداکثر و حداقل مشعل را نشان می‌دهد. توان مشعل‌های حرارتی دارای یک حداکثر و یک حداقل است که بنابر نوع مشعل و عملکرد آن

[1] فیلم آموزشی شماره۷-۲را ببینید

متغیر است. برای مثال چنانچه حداکثر قدرت حرارتی یک مشعل ۱۰۰ و حداقل قدرت حرارتی آن ۵۰ باشد TURN DOWN RATIO مشعل فوق ۲ است و چنانچه حداقل قدرت حرارتی این مشعل ۲۵ باشد TURN DOWN RATIO مشعل فوق ۴ خواهد بود.

به‌همین علت در بویلرهای بخار بزرگ‌تر از ۵ تن در ساعت مشعل‌های روتاری کاپ بهترین گزینه هستند و در بویلرهای بزرگ‌تر از ۱۰ تن در ساعت تنها گزینه.

جدول ۷-۱: راهنمای انتخاب مشعل در بویلرهای مختلف

ظرفیت بویلر $(\frac{kg}{h})$	کمتر از ۵۰۰	۵۰۰-۲۰۰۰	۲۰۰۰-۵۰۰۰	۵۰۰۰-۱۰،۰۰۰	بیشتر از ۱۰،۰۰۰
نوع کنترل	تک مرحله	دو مرحله	دو مرحله مدولار	چند مرحله مودولار	چند مرحله مودولار
نوع مشعل	پرشر جت	پرشر جت	پرشر جت، روتاری کاپ	پرشر جت، روتاری کاپ	روتاری کاپ

هزینه خرید اولیه مشعل‌های روتاری کاپ بالا بوده و همچنین نگهداری از آنها به دلیل پیچیدگی عملکرد مستلزم حضور تکنسین‌های مجرب و آشنا به عملکرد مشعل و به صورت روزمره و روتین است.

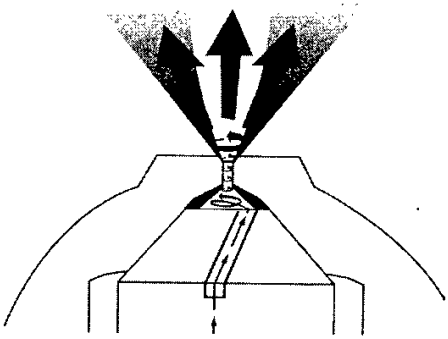
پرشر جت

وظیفه پاشش سوخت در مشعل‌های پرشر جت مایع سوز با نازل است. نازل‌ها از نظر شکل و زاویه پاشش انواع مختلفی دارند که بنابر نوع و ظرفیت مشعل تغییر می‌کند. شکل۷-۶ نمونه واقعی و برش خورده یک نازل گازوئیل را نشان می‌دهد.

شکل ۷-۷: واقعی و برش خورده نازل گازوئیل

پودر شدن سوخت در این مشعل‌ها مکانیکی است. پمپ گازوئیل سوخت را تحت فشار (psi ۷۵-۲۰۰) به داخل نازل پمپ می‌کند. سوخت ابتدا از صافی مستقر در زیر نازل عبور کرده و ذرات و آشغال‌های موجود را جدا می‌کند. سپس از طریق پیچ انتهایی نازل و سوراخ جداری این پیچ از سطح خارجی مخروط وارد شیارهای آن می‌شود. این شیارها تنها راه ورود به محفظه کوچک گردابی در انتهای مخروط شیاردار هستند. از آنجاییکه این شیارها بسیار نازک هستند بخشی از انرژی فشاری به انرژی سرعتی تبدیل می‌شود.(برای مثال فشارpsi ۱۰۰ ورودی به نازل پس از عبور از شیارها و ورود به محفظه گردابی به psi۶۰ می‌رسد) سوخت وارد شده به محفظه گردابی به صورت چرخشی و با سرعت زیاد وارد

سوراخ (اریفیس) نازل شده و از آن خارج می‌شود. سوخت هنگام خروج از اریفیس تحت تاثیر نیروی گریز از مرکز، از مرکز نازل دور شده و به صورت یک لایه نازک با سرعت زیاد(تقریباً۶۵کیلومتر در ساعت) حرکت می‌کند.



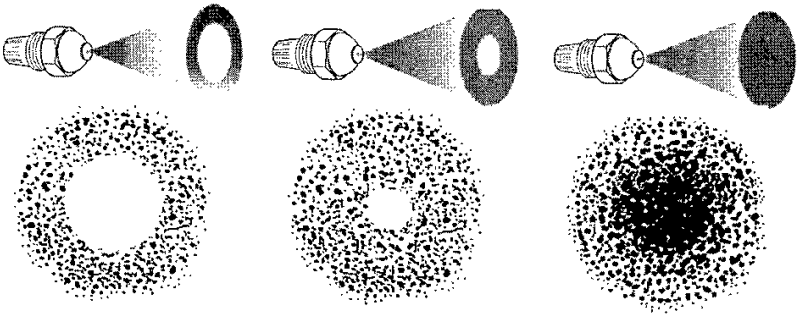
شکل ۷-۸: شماتیک نازل گازوئیل

یک نازل خوب می‌تواند یک گالن گازوئیل را در فشارpsi ۱۰۰به ۵۵ میلیارد ذره با قطر بین ۰/۰۰۰۲-۰/۰۱ اینچ تبدیل کند. این یعنی سطح یک گالن گازوئیل پس از پودر شدن به ۶۹۰,۰۰۰ اینچ مربع افزایش می‌یابد و این امر به اختلاط کامل سوخت و هوا و بالا رفتن راندمان احتراق می‌انجامد.

شکل پاشش

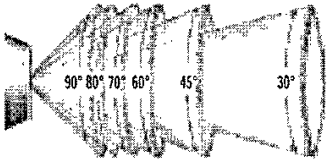
الف)الگوی پخش: نازل‌ها از نظر شکل پاشش به سه الگوی اصلی دسته‌بندی می‌شوند.(شکل۷-۹) ازدیاد حجم هسته هوا در مرکز اریفیس در نتیجه افزایش چرخش سوخت مایع در داخل نازل است. چرخش بیشتر سوخت مایع زاویه پاشش بازتر و هسته بزرگ‌تر هوا را باعث می‌شود. انتخاب نازل از نظر زاویه پخش و الگوی آن بستگی به طرح کوره حرارتی و طراحی مشعل دارد.

الگوی هوای مشعل عامل مهمی در نحوی انتخاب نازل از نقطه نظر زاویه و الگوی پخش آن است.



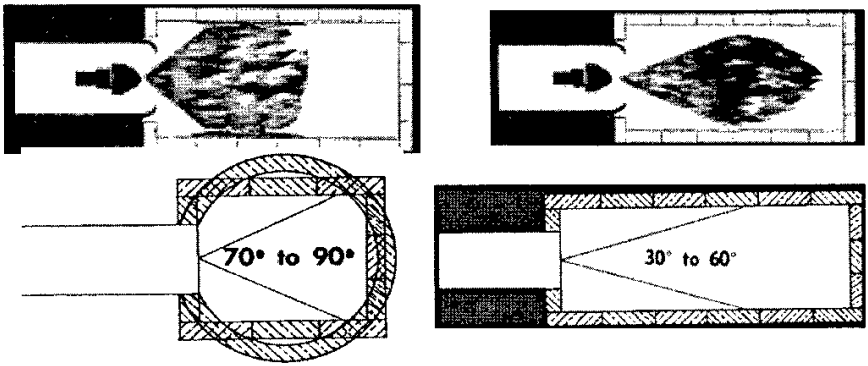
شکل ۷-۹: زاویه و الگوی پخش نازل‌های متداول

ب)زاویه پاشش:زاویه پاشش سوخت در نازل‌ها بین ۳۰-۹۰ درجه به ۶ زاویه استاندار (۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰) تقسیم‌بندی می‌شود.



شکل ۷-۱۰: زوایای مختلف پاشش گازوئیل

هرچه زاویه پاشش بیشتر باشد قطر شعله بزرگتر شده و طول آن کاهش می‌یابد. و هرچه زاویه کمتر باشد بر عکس حال قبل قطر شعله کمتر شده و طول شعله افزایش می‌یابد.



شکل ۷-۱۱: شماتیک شکل شعله در زوایای مختلف پاشش گازوئیل

ظرفیت نازل

نازل‌ها طوری طراحی می‌شود که مقدار مشخصی سوخت را به محفظه احتراق بفرستند. ظرفیت نازل‌ها در سیستم عموماً به دو صورت کیلوگرم در ساعت (kg/h) و یا گالن در ساعت (gph) با ویسکوزیته ۰/۷۵سنتی استوک و دانسیته۰/۸۳ و در فشار۷ bar (۱۰۰ psi) به صورت استاندارد توسط سازنده ارائه می‌شود. برای محاسبه دقیق و انتخاب نازل در فشارهای بالاتر می‌توان به کمک جدول۷-۲ جریان عبوری از نازل را محاسبه نمود.[۱]

[۱] فیلم آموزشی شماره۷-۳ را ببینید

جدول ۷-۲: راهنمای انتخاب نازل گازوئیل در فشارهای مختلف

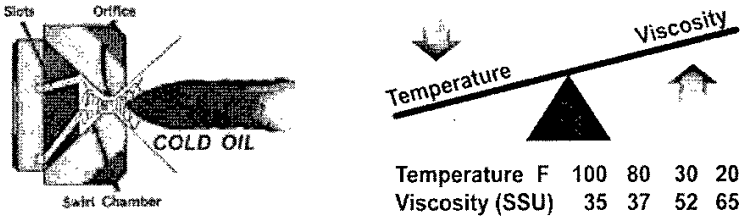
Nozzle Rating at 100 PSI	Nozzle Flow Rates In Gallons Per Hour (Approx.)					
	120 PSI	145 PSI	160 PSI	175 PSI	200 PSI	300 PSI
0.40	0.44	0.48	0.51	0.53	0.57	0.69
0.50	0.55	0.60	0.63	0.66	0.71	0.87
0.60	0.66	0.72	0.76	0.79	0.85	1.04
0.65	0.71	0.78	0.82	0.86	0.92	1.13
0.75	0.82	0.90	0.95	0.99	1.06	1.30
0.85	0.93	1.02	1.08	1.12	1.20	1.47
0.90	0.99	1.08	1.14	1.19	1.27	1.56
1.00	1.10	1.20	1.26	1.32	1.41	1.73
1.10	1.20	1.32	1.39	1.46	1.56	1.91
1.20	1.31	1.44	1.52	1.59	1.70	2.08
1.25	1.37	1.51	1.58	1.65	1.77	2.17
1.35	1.48	1.63	1.71	1.79	1.91	2.34
1.50	1.64	1.81	1.90	1.98	2.12	2.60
1.65	1.81	1.99	2.09	2.18	2.33	2.86
1.75	1.92	2.11	2.21	2.32	2.47	3.03
2.00	2.19	2.41	2.53	2.65	2.83	3.46
2.25	2.46	2.71	2.85	2.98	3.18	3.90
2.50	2.74	3.01	3.16	3.31	3.54	4.33
2.75	3.01	3.31	3.48	3.64	3.89	4.76
3.00	3.29	3.61	3.79	3.97	4.24	5.20
3.25	3.56	3.91	4.11	4.30	4.60	5.63
3.50	3.83	4.21	4.43	4.63	4.95	6.06
4.00	4.38	4.82	5.06	5.29	5.66	6.93
4.50	4.93	5.42	5.69	5.95	6.36	7.79
5.00	5.48	6.02	6.32	6.61	7.07	8.66
5.50	6.02	6.62	6.96	7.28	7.78	9.53
6.00	6.57	7.22	7.59	7.94	8.49	10.39
6.50	7.12	7.83	8.22	8.60	9.19	11.26
7.00	7.67	8.43	8.85	9.26	9.90	12.12
7.50	8.22	9.03	9.49	9.92	10.61	12.99
8.00	8.76	9.63	10.12	10.58	11.31	13.86
8.50	9.31	10.24	10.75	11.24	12.02	14.72
9.00	9.86	10.84	11.38	11.91	12.73	15.59
9.50	10.41	11.44	12.02	12.57	13.44	16.45
10.00	10.95	12.04	12.65	13.23	14.14	17.32
11.00	12.05	13.25	13.91	14.55	15.56	19.05
12.00	13.15	14.45	15.18	15.87	16.97	20.78
13.00	14.24	15.65	16.44	17.20	18.38	22.52
14.00	15.34	16.86	17.71	18.52	19.80	24.25
15.00	16.43	18.06	18.97	19.84	21.21	25.98
16.00	17.53	19.27	20.24	21.17	22.63	27.71
18.00	19.72	21.67	22.77	23.81	25.46	31.18
20.00	21.91	24.08	25.30	26.46	28.28	34.64
22.00	24.10	26.49	27.83	29.10	31.11	38.11
24.00	26.29	28.90	30.36	31.75	33.94	41.57
26.00	28.48	31.31	32.89	34.39	36.77	45.03
28.00	30.67	33.72	35.42	37.04	39.60	48.50
30.00	32.86	36.12	37.95	39.69	42.43	51.96
32.00	35.05	38.53	40.48	42.33	45.25	55.43
35.00	38.34	42.15	44.27	46.30	49.50	60.62
40.00	43.82	48.17	50.60	52.92	56.57	69.28
45.00	49.30	54.19	56.92	59.53	63.64	77.94
50.00	54.77	60.21	63.25	66.14	70.71	86.60

ویسکوزیته[1]

عبارت است از مقاومت یک مایع در برابر اعمال تنش برشی در یک سیال جاری (در حال حرکت)، که لایه‌های مختلف آن نسبت به یکدیگر جابجا می‌شوند، به‌مقدار مقاومت لایه‌های سیال در برابر لغزش روی هم گرانروی سیال می‌گویند. هرچه گرانروی مایعی بیشتر باشد، برای ایجاد تغییر شکل یکسان، به

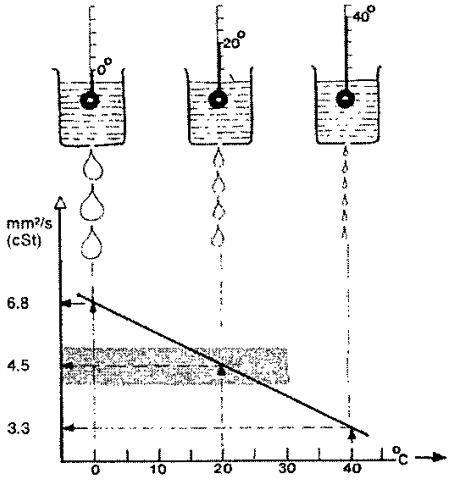
1- Viscosite

تنش برشی بیشتری نیاز است. به‌عنوان مثال گرانروی عسل از گرانروی شیر بسیار بیشتر است. در سوخت‌های مایع با کاهش دما ویسکوزیه سوخت افزایش پیدا می‌کند. به عبارت دیگر گرانروی سوخت افزایش می‌یابد.



شکل ۷-۱۲: رابطه دما و ویسکوزیته سوخت

افزایش گرانروی سوخت سبب می‌شود سرعت چرخش سوخت در محفظه گردابی کاهش یابد و تبدیل فشار به سرعت به درستی صورت نگیرد و در نتیجه فشار بالاتر رود. در این حالت سوخت خارج شده از اریفیس به طور کامل اتمیزه نشده و ذرات درشت‌تری را پخش خواهد کرد.



شکل ۷-۱۳: نمودار ویسکوزیته گازوئیل

از همین روی است که مشعل‌های روتاری کاپ در مواردی که امکان تغییر وسکوزیته سوخت وجود دارد نسبت به مشعل‌های پرشرجت انتخاب بهتری هستند.

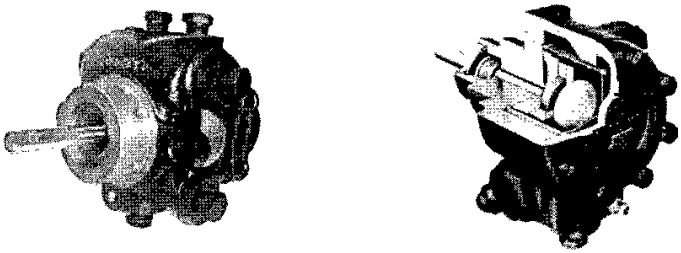
پمپ گازوئیل

پمپ‌های سوخت مایع[1] بکار رفته در مشعل‌های مایع سوز از نوع دنده‌ای و از خانواده پمپ‌های جابجایی مستقیم هستند. فشار مورد نیاز برای سوخت‌های سبک مانند گازوئیل حدود ۱۰۰ psi است. این

1- Fuel pump

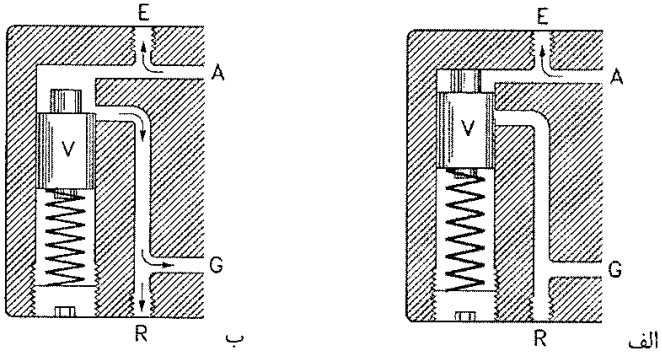
در حالی است که برای سوخت‌های سنگین مانند مازوت فشار پاشش بعضاً تا ۴۵۰psi افزایش می‌یابد.

عملکرد پمپ‌های دنده‌ای دارای پیچیدگی خاصی نیست. در این پمپ‌ها وقتی که محور پمپ می‌چرخد چرخ دنده کوچک و چرخ دنده رینگی که با آن درگیر است به چرخش در می‌آید. این چرخ دنده‌ها درون قابی قرار گرفته‌اند که توسط روپوشی که شامل مجراهای مکش و دهش است پوشانده شده‌اند. هنگام دوران چرخ دنده‌ها سوخت مایع به داخل پمپ مکیده شده و در فضای بین چرخ دنده‌ها فشرده می‌شود و سوخت با فشار بالا به طرف شیر تنظیم فشار رانده می‌شود.



شکل ۷-۱۴: واقعی و برش خورده پمپ گازوئیل

شیر تنظیم فشار مقداری از سوخت را که در نازل استفاده نمی‌شود به قسمت مکش بر گشت داده و به اصطلاح باز گردش می‌کند و بدین ترتیب فشار پمپ ثابت نگه داشته می‌شود.شکل۷-۱۵ مراحل عملکرد این شیر را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۱۵: برش خورده شیر تنظیم پمپ گازوئیل

گازوئیل از قسمت (A) وارد شده و از طریق مجرای (E) به سمت نازل می‌رود. مقدار و فشار گازوئیل که از نازل عبور می‌کند با تنظیم فنر که توسط پیچ تنظیم می‌شود تغییر می‌کند. حال اگر پیچ تنظیم فنر بسته شود (شکل الف) مقدار کمتری گازوئیل از مجرای برگشت (R) عبور می‌کند و در نتیجه فشار در خروجی نازل بالا می‌رود و در حالتی که تراکم فنر کم باشد پیستون (V) به راحتی می‌تواند توسط فشار گازوئیل به پایین حرکت کرده و در نتیجه گازوئیل بیشتری از مجرای (R) عبور کرده و در نتیجه فشار خروجی نازل کاهش می‌یابد.

بازگردش سوخت مایع می‌تواند با دو عدد شلنگ رفت و برگشت انجام شود و سوخت اضافی به مخزن روزانه هدایت شود. در پمپ‌های مجهز به یک شلنگ مسیر باز گردش سوخت در داخل خود پمپ و توسط شیر تنظیم صورت می‌گیرد.

برای آنکه پس از خاموشی مشعل و خاموش شدن پمپ دیگر سوختی به محفظه احتراق وارد نشود مشعل‌ها مجهز به شیر برقی گازوئیل هستند. بدین ترتیب با خاموش شدن مشعل جریان سوخت به طور کامل قطع می‌شود تا از بروز شعله توام با دوده و طپش از سوختی که از سر نازل چکه می‌کند جلوگیری شود.

شیر برقی گازوئیل

شیر برقی گازوییل در مسیر خروجی پمپ تا نازل مشعل قرار می‌گیرد و وظیفه آن کنترل قطع و وصل جریان گازوئیل به نازل می‌باشد. شیر برقی‌های گازوئیل می‌توانند از هر دو نوع نرمال بسته (در حالتی که بوبین شیر برقی برق دار نباشد شیر در وضعیت بسته بوده و جریان گازوییل از شیر عبور نمی‌کند) و یا نرمال باز (در حالتی که بوبین شیر برقی برق دار نباشد شیر در وضعیت باز بوده و جریان گازوییل از شیر عبور می‌کند) باشد.

شکل ۷-۱۶: دو نوع شیر برقی گازوئیل

در مشعل‌های تک مرحله‌ای یک شیر برقی و در مشعل‌های دو مرحله‌ای دو یا سه شیر برقی و یا حتی بیشتر وجود دارد که در هر صورت تعداد شیرها و حتی نوع و سایز آنها بستگی به نحوه توزیع گازوئیل توسط نازل‌های مشعل و سیستم کنترل ظرفیت مشعل دارد. شیر برقی‌های گازوئیل معمولاً در سایزهای "۱/۸(یک هشتم اینچ)، "۱/۴(یک چهارم اینچ) و"۳/۸(سه هشتم اینچ) بر روی مشعل‌ها نصب می‌گردند.

شعله پخش کن

شعله پخش کن در قسمت جلوی مشعل قراردارد و متشکل از یک صفحه فلزی مشبک است. شعله پخش کن باعث فرم دادن به حرکت هوا و سوخت می‌شود و در نتیجه نوع شعله ایجاد شده در محفظه احتراق را تنظیم می‌کند. هوای اولیه با عبور از لابلای پره‌های شعله پخش کن به درون سوخت اتمیزه شده نفوذ کرده، ضمن جدا کردن ذرات از هم موجب تسریع در فرآیند احتراق سوخت و کوتاه شدن ناحیه احتراق می‌گردد. حال هر چه قطر شعله پخش کن زیادتر و زاویه پره‌ها نسبت به صفحه استقرار شعله پخش کن کمتر باشد قطر شعله بیشتر و طول آن کاهش می‌یابد.

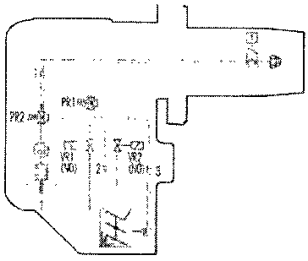
انواع مشعل‌های گازوئیلی

تک مرحله

این قبیل مشعل‌ها که معمولاً در مشعل‌های ساخت داخل تا ظرفیت ۳۰۰,۰۰۰ ساخته می‌شوند برای دیگ‌های آب‌گرم کوچک خانگی و دیگ‌های بخار کوچکتر از kg/h ۵۰۰ مناسب هستند. مصرف گازوئیل در تمام سیکل عملکرد در آنها برابر بوده و به محض دریافت فرمان استارت از طرف ترموستات و یا سوئیچ فشار با حد اکثر ظرفیت شروع به کار می‌کند. دمپرهوای این نوع از مشعل در مدل‌های ساخت داخل دستی است و باید توسط اپراتور تنظیم شود. البته در مشعل‌های مدرن تولیدی روز دنیا تقریباً دمپرهای دستی منسوخ شده است.

دو مرحله

این قبیل مشعل‌ها را جائی به کار می‌بریم که تنظیم و تغییر مقدار گازوئیل مصرفی ضروری است در لوله‌ای که سوخت را از نازل به تانک برمی گرداند وسایلی نصب می‌کنند که عمل تنظیم را انجام می‌دهند. در این صورت باید هوای لازم برای عمل احتراق را نیز تغییر داد. این نوع مشعل‌ها دو نوع اند: دو مرحله‌ای با تک نازل و دو مرحله‌ای با دو نازل. ساختمان مشعل‌های دو مرحله‌ای که دارای یک نازل می‌باشد مانند مشعل‌های یک مرحله‌ای است با این تفاوت که قسمتی از گازوئیلی که به نازل می‌رسد توسط یک لوله مجدداً به منبع گازوئیل برمی‌گردد. شکل۷-۱۷ مشعل گازوئیلی دومرحله تک نازل را نشان می‌دهد.



VR1(NO)	1st stage oil return valve normally open
VR2(NO)	2nd stage oil return valve normally open
VR3(NC)	2nd stage oil return valve normally closed
1	Oil delivery pipe to the nozzle/s
2	Oil return pipe from the 2nd stage regulator
3	Oil delivery pipe to the air damper hydraulic jack
4	Oil return pipe from the 1st stage regulator
MT	Air damper hydraulic jack for the 2nd stage
PR1	1st stage oil regulator
PR2	2nd stage oil regulator

شکل ۷-۱۷: شماتیک مشعل مایع سوز دو مرحله‌ای تک نازل

مشعل تک نازل

مرحله اول: شیر برقی نرمال باز مرحله اول(VR1) بسته می‌شود و جریان بازگردش ۱ را مسدود می‌کند. در نتیجه مسیر جریان سوخت به سمت سوپاپ(PR1) تغییر می‌کند. سوپاپ (PR2) بخشی از سوخت را به سمت نازل هدایت می‌کند و بخشی را به سمت شیر برقی مرحله دوّم(VR2)هدایت می‌کند.

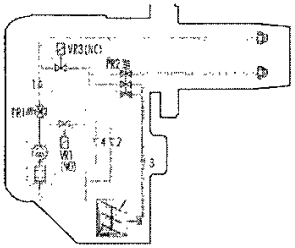
مرحله دوّم: شیر برقی نرمال باز مرحله دوّم(VR2) نیز بسته می‌شود و در نتیجه جریان بیشتری از مسیر ۱ به سمت نازل هدایت می‌شود و در نتیجه ظرفیت مشعل افزایش می‌یابد.

کنترل هوا

با باز و بسته شدن شیرهای برقی ۱و۲ و تغییر فشار خروجی، سوپاپ تغییر کرده و فشار پشت دمپر هوا نیز تغییر می‌کند و در نتیجه میزان هوای مورد نیاز توسط دمپر تنظیم می‌شود.

مشعل دو نازل

این مشعل‌ها مجهز به دونازل جهت پاشش هستند. در مرحله اول یک نازل عمل می‌کند و در مرحله دوم هر دو نازل شروع به کار می‌کند.



VR1(NO)	1st stage oil return valve normally open
VR2(NO)	2nd stage oil return valve normally open
VR3(NC)	2nd stage oil return valve normally closed
1	Oil delivery pipe to the nozzle/s
2	Oil return pipe from the 2nd stage regulator
3	Oil delivery pipe to the air damper hydraulic jack
4	Oil return pipe from the 1st stage regulator
MT	Air damper hydraulic jack for the 2nd stage
PR1	1st stage oil regulator
PR2	2nd stage oil regulator

شکل ۷-۱۸: شماتیک مشعل مایع سوز دو مرحله‌ای دو نازل

مشابه مشعل‌های تک نازل مشعل‌های دو نازل نیز مجهز به دو شیر برقی هستندو با بسته شدن جریان سوخت توسط شیر برقی نرمان باز(VR1)وباز شدن شیر برقی نرمان بسته (VR3)جریان سوخت به سمت نازل‌های ۱ و۲ باز و بسته شده و مشعل بدین ترتیب وارد مراحل ۱ و۲ می‌شود.هوای مورد نیاز مشعل نیز از طریق تغییر فشار خروجی از سوپاپ به سمت دمپر تنظیم می‌شود.

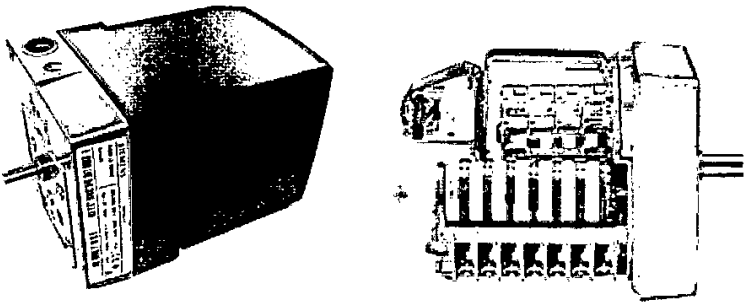
عملکرد پیوسته

دیگ‌هایی که ظرفیت حرارتی آنها زیاد است و یا در دیگ‌هایی که برای کارهای معین به کار می‌روند و در آن تنظیم درجه حرارت و یا فشار اهمیت ویژه‌ای دارد ظرفیت مشعل باید به طریق پیوسته تنظیم شود یعنی آنکه تعویض از مرحله یک به دو و برعکس نباید یک باره انجام گیرد بلکه بطور پیوسته و دائم در در هر لحظه فقط همانقدر سوخت مصرف می‌شود که برای درجه حرارت انتخاب شده مناسب است. اگر سوخت مشعل مایع باشد بایستی دارای لوله برگشت سوخت مایع باشد و بین این لوله و لوله ارتباطی نازل یک سوپاپ تنظیم فشار نصب می‌شود که به‌وسیلهٔ یک موتور کوچک الکتریکی با تغییر درجه حرارت یا فشار دیگ ، فشار گازوئیل در داخل نازل تغییر می‌کند و باعث کمتر یا بیشتر سوزاندن گازوئیل می‌شود. این تغییرات بر روی دریچه‌های هوا نیز منتقل می‌گردد و سبب تنظیم هوا برای سوختن با گازوئیل می‌شود بنابرین می‌توان درجه حرارت و یا فشار دیگ را ثابت نگه داشت دراین قبیل مشعل‌ها فشار پمپ گازوئیل در جهتی که گازوئیل را از مخزن به نازل می‌رساند همیشه ثابت باقی می‌ماند و فقط مقدار برگشت است که توسط سوپاپ کم و زیاد می‌شود البته بایستی با کم و زیاد شدن مقدار گازوئیل مصرف شده مقدار هوای احتراق را نیز همزمان توسط دمپر موتور تنظیم شود.

دمپر موتور هوا

در مشعل‌های دو مرحله‌ای و یا مشعل‌های با عملکرد پیوسته برای تنظیم هوای احتراق از دمپر موتورهای هوا استفاده می‌شود. دمپر موتور مشعل در واقع یک سرو موتور است که با دریافت فرمان از رله مشعل در دوجهت ساعتگرد و یا پاد ساعتگرد شروع به گردش می‌کند. میزان گردش موتور در هر جهت با تنظیم بادامک‌هایی که به میکرو سوئیچ مربوطه فرمان می‌دهد تنظیم می‌شود. با حرکت موتور و چرخش بادامک‌ها میکروسوئیچ‌ها باز و بسته می‌شوند و در نتیجه دریچه هوا با توجه به نیاز هوای احتراق

باز و بسته می‌شود. دمپر موتورهای هوا هم بر روی مشعل‌های مایع سوز و هم گاز سوز و هم دوگانه سوز نصب می‌شود و مشترک است.

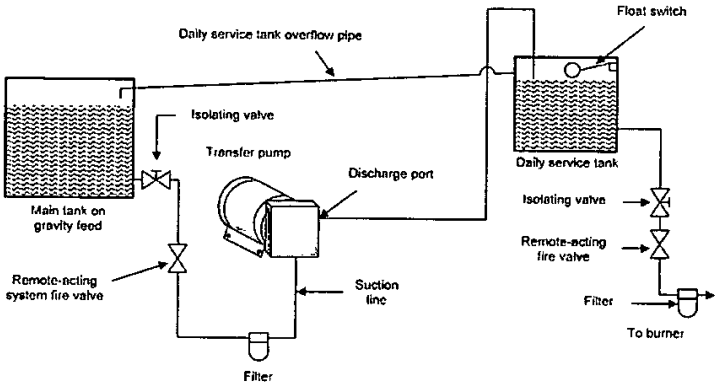


شکل ۷-۱۹: دمپر موتور هوای مشعل ساخت زیمنس

مخزن گازوئیل و لوله‌کشی سوخت

مخزن سوخت

منبع گازوئیل (منبع سوخت) معمولا در مناطقی که گاز وجود ندارد و یا در موتورخانه‌های با مشعل دوگانه‌سوز مورد استفاده قرار می‌گیرد. پس از تعیین مقدار سوخت مصرفی توسط مشعل در یک ساعت، مدت زمان کار کردن مشعل و با توجه به مدت زمان لازم جهت ذخیره‌سازی(فاصله زمانی بین دو پر کردن متوالی مخزن) می‌توان ظرفیت منبع را محاسبه نمود. برای ذخیره سازی سوخت دو نوع مخزن مورد استفاده قرار می‌گیرد یکی مخزن سوخت روزانه و دیگری مخزن سوخت اصلی که در زیر مورد بررسی قرار می‌گیرند.



شکل ۷-۲۰: شماتیک لوله‌کشی مخزن اصلی به مخزن روزانه

مخزن سوخت روزانه

دیگ‌هایی که سوخت مایع مصرف می‌نمایند (گازوئیل و مازوت) نیاز به یک مخزن سوخت روزانه (مخزن تغذیه روزانه مشعل) دارند که در داخل موتورخانه بین مخزن ذخیره اصلی و مشعل نصب می‌شود

این مخزن باعث می‌شود که سوخت مصرفی قبل از ورود به مشعل در موتورخانه گرم و روان شود (ویسکوزیته سوخت پایین بیاید) و در نتیجه راحت‌تر و بهتر محترق شود و همچنین ذرات موجود در گازوئیل در آنجا ته‌نشین شوند. این مخزن سوخت بر مشعل سوار می‌باشد تا پمپ مشعل حد اقل مکش را داشته باشد.

محاسبه ظرفیت مخزن سوخت روزانه در ساختمان

مقدار سوخت لازم برای زمان ۲۴ ساعت معادل G×۲۴ خواهد بود اما نظر به اینکه مشعل، در تمام طول ۲۴ ساعت کار نمی‌کند، ضریبی را برای انقطاع دستگاه در نظر می‌گیرند. در نتیجه ظرفیت مخزن سوخت روزانه از رابطه (۷-۱) بدست می‌آید.

$$V\left(\frac{Lit}{\text{day}}\right) = G(\frac{Kg}{hr})\times 1.16(\frac{Lit}{Kg})\times 24\times a = 27.84G\cdot a \qquad (۷-۱)$$

که در این رابطه a ظریب انقطاع می‌باشد.

زمان کار مشعل ۲۴ ساعته نمی‌باشد و مشعل به صورت پیوسته کار نمی‌کند. محاسبه زمان کارکرد مشعل احتیاج به محاسبات دقیقی دارد اما به عنوان محاسبات سر انگشتی نسبتاً دقیق عملکرد مشعل بر روی دیگ‌های آب‌گرم در ساختمان‌های مسکونی در شبانه روز ۱۶ساعت (a=۰/۶۶) و در ساختمان‌های تجاری در شبانه روز ۱۲ ساعت (a=۰/۵) می‌باشد. برای دیگ‌های بخار این عدد معادل کل ساعات کارکرد ضرب در ۰/۷۵ می‌باشد. توجه شود که برای ایمنی در برابر آتش‌سوزی گنجایش مخزن سوخت روزانه ساختمان نباید از ۲۴۰ لیتر بیشتر باشد و این مخزن باید لوله هواکش مستقل و لوله تخلیه با شیر قطع و وصل از نوع بدون نشت داشته باشد.

انتقال سوخت مایع از مخزن ذخیره اصلی به مخزن تغذیه روزانه باید به کمک پمپ صورت گیرد و مخزن تغذیه روزانه باید در ترازی بالاتر از مخزن اصلی نصب شود و لوله سرریز آن باید سوخت مایع را به طور ثقلی به مخزن ذخیره اصلی برگرداند و در مسیر لوله سرریز این مخزن تا مخزن ذخیره اصلی هیچ نوع شیر یا مانع دیگر نباید نصب شود.

مخزن سوخت اصلی

این مخزن برای ذخیره سوخت برای مدت مشخص مورد استفاده قرار می‌گیرد که در زمین دفن میشوند (مخازن دفنی) و یا اینکه روی زمین قرار می‌گیرند که در زیر به مزایا و معایب هرکدام پرداخته می‌شود.

مخازن روی زمین

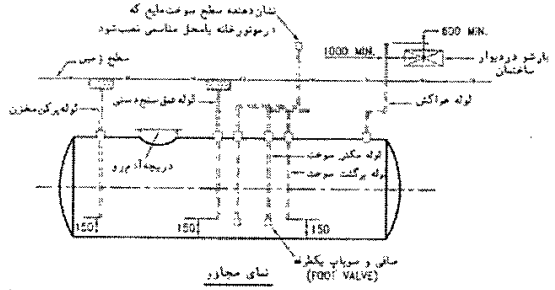
همانطور که از اسم این مخازن پیدا است این مخازن بر روی زمین روی بام ساختمان، طبقه پایین و . . . نصب می‌شوند و ممکن است بیرون و یا داخل ساختمان قرار گیرند. از مشکلات عمده این مخازن احتمال یخزدگی در مناطق سردسیر است لذا در اقلیم‌های سردسیر (مناطقی که دمای هوا به زیر ۱۸°C- نزول پیدا کند) مانند زنجان، تبریز، ارومیه، اردبیل و . . . استفاده از این مخازن توصیه نمی‌شود.

الف) مخازن روی زمین خارج ساختمان: این مخازن در محوطه خارج ساختمان و یا روی بام ساختمان نصب می‌شوند و براساس مبحث چهاردهم مقررات ملی ساختمان گنجایش این مخازن نباید از مقادیر زیر بیشتر باشد:

- اگر مخزن در محوطه اختصاصی ساختمان روی زمین نصب میشود، گنجایش آن نباید از ۲۵۰۰ لیتر بیشتر باشد.
- اگر چند مخزن به طور موازی نصب میشوند گنجایش کلی آنها نباید از ۲۵۰۰ لیتر بیشتر باشد.
- اگر مخزن روی بام، زیر زمین یا در پایینترین طبقه نصب میشود گنجایش آن نباید از ۲۴۰ لیتر بیشتر باشد.[۱]

ب) مخازن روی زمین داخل ساختمان: این مخازن در داخل ساختمان و روی زمین نصب میشوند و ممکن است محصور یا غیر محصور باشند.

- مخازن غیر محصور: به مخازنی گفته میشود که در فضای باز هستند و جدارهای اطراف آن در برابر آتش مقاوم نباشد.
- مخازن محصور: مخزن وقتی محصور است که در فضای بسته و جداگانهای با جدارهای دست کم سه ساعت مقاوم در برابر آتش از بقیه فضاهای ساختمان نصب شده باشد. در موقع آتش سوزی شعلهوری این مخازن کمتر و اطفای حریق آنها راحتتر است. در صورتیکه گنجایش مخزن سوخت مایع بیش از ۲۵۰۰ لیتر باشد و در داخل ساختمان قرار گیرد باید از مخزن محصور استفاده شود.[۲]



شکل۷-۲۱: جزئیات نصب مخزن دفنی سوخت مایع(اندازهها به میلیمتر میباشند)

مخازن زیر زمینی(دفنی)

به مخازنی که در محلی مناسب در زیر زمین دفن میشوند و سوخت توسط پمپ و لولهکشی به محل مصرف هدایت میشود مخازن زیرزمینی یا دفنی گفته میشود از مزیتهای اصلی این مخازن میتوان به دو مورد محافظ در برابر حریق و عدم یخزدگی در اقلیمهای سردسیر اشاره کرد. توجه شود که این مخازن هرچقدر در ارتفاع بیشتری از سطح زمین دفن شوند کمتر در معرض تغییرات دمایی سطح زمین قرار میگیرند و در نتیجه احتمال یخزدگی آنها پایینتر میآید. در اقلیمهای سردسیر پیشنهاد میشود از این مخازنها استفاده شود. در این مخازن برای جلوگیری از یخزدگی در پمپ و لولهکشی بین مخزن اصلی و مخزن روزانه از عایق استفاده میکنند (دور لولهکشی و پمپ عایقبندی میکنند) و در مناطق بسیار سردسیری که روزهای سرد آن ممتد است از المانهای حرارتی برای جلوگیری از یخزدگی استفاده میکنند و این المانها را دور لولهها و پمپ میبندند و توسط یک ترموستات کنترل میشوند. در

---

۱. برای جزئیات بیشر در مورد نصب این مخازن به مبحث چهاردهم مراجعه شود.

۲. برای تعیین حداکثر گنجایش مجاز این مخازن به مبحث چهاردهم مراجعه شود.

شکل (۷-۲۱) جزئیات نصب مخزن دفنی سوخت مایع در زیر زمین آمده است.

توجه شود که برای جلوگیری از تلاطم و تولید گاز در داخل مخزن انتهای لوله‌ها باید ۱۵۰ میلی‌متر با کف مخزن فاصله داشته باشند. برخی از نکات اجرایی مخازن دفنی عبارتند از:

اگر مخزن زیر ساختمان دفن شود باید در جایی قرار گیرد که بارهای وارده بر پی‌های ساختمان‌های موجود به مخزن منتقل نشود.

هیچ قسمت از مخزن نباید زیر خط ۴۵ درجه که از سطح باربر پی می‌گذرد باشد.

فاصله مخزن سوخت مدفون در محوطه از دیوارهای زیرزمین ساختمان، حوضچه‌ها، تاسیسات ساختمان و یا خط محدوده ملک نباید کمتر از سه متر باشد.

دریچه آدم رو که به منظور دسترسی به داخل مخزن در روی آن نصب می‌شود باید حداقل به قطر ۴۵ سانتی‌متر و ترجیحاً ۶۰ سانتیمتر باشد این دریچه باید با یک سرپوش مناسب و واشر محکم در برابر سوخت مایع داخل مخزن با تعداد کافی پیچ و مهره به صورت کاملا درزبند بسته شود و از خروج گازهای داخل مخزن به فضای اطراف جلوگیری شود. مخازن با گنجایش ۳۰۰۰ لیتر و کوچکتر ممکن است بدون دریچه آدم‌رو ساخته و نصب شوند.

اتصال اجزای لوله‌کشی که در داخل خاک قرار می‌گیرند باید از نوع جوشی باشد مگر در نقطه اتصال به مخزن که از نوع فلنجی یا دنده‌ای باید باشد.

انتهای لوله هواکش باید حداقل تا سه متر بالاتر از کف محوطه ادامه یابد و دارای کلاهک مخصوص مانع ورود آب باران و برف به داخل لوله باشد. انتهای لوله هواکش باید حداقل یک متر از هر دهانه بازشو ساختمان (پنجره‌ها و . . .) فاصله افقی داشته باشد.

لوله‌های هواکش و پرکن باید به سمت مخزن شیب داشته باشند.

محاسبه ظرفیت مخزن اصلی

برای محاسبه ظرفیت مخزن اصلی سوخت مایع از رابطه (۷-۲) استفاده می‌کنیم.

$$V(Lit) = G(\frac{Kg}{hr}) \times 1.16(\frac{Lit}{Kg}) \times 24 \times N \times a = 27.84G \cdot N \cdot a \qquad (۷-۲)$$

که در آن:

a :ظریب انقطاع می‌باشد که معمولاً بین ۰/۵ و ۰/۶

G: مقدار سوخت مصرفی در یک ساعت

N: تعداد روزهای بین دو پرکردن متوالی مخزن(حد اقل یک ماه)

تمرین:

ظرفیت یک مشعل گازوئیلی۱۰kg/hr است مطلوب است ظرفیت مخزن اصلی و مخزن روزانه در صورتی‌که هر ۴۵ روز یکبار آن را پر کنیم.

حل:

برای تعیین ظرفیت مخزن روزانه و اصلی به‌ترتیب از روابط (۷-۱) و (۷-۲) استفاده می‌کنیم.

ظرفیت مخزن روزانه:

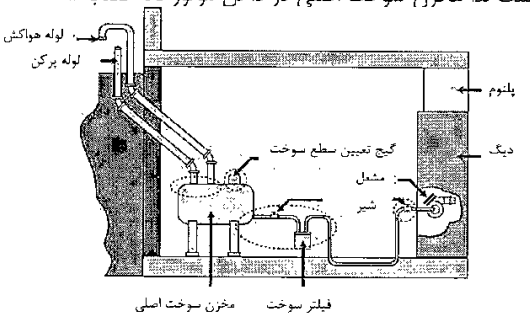
$$V\left(\frac{Lit}{day}\right) = ۲۷/۸۴G.a = ۲۷/۸۴ \times ۱۰ \times ۰/۶ = ۱۶۷/۰۴\left(\frac{Lit}{day}\right)$$

در این مثال ضریب انقطاع را ۰/۶ در نظر گرفته‌ایم. پس مشعل در هر شبانه روز تقریبا ۱۶۷ لیتر گازوئیل مصرف می‌کند و حجم مخزن روزانه آن باید ۱۶۷ لیتر باشد.

ظرفیت مخزن اصلی برای ۴۵ روز:

$$V(Lit) = ۲۷/۸۴G.N.a = ۲۷/۸۴ \times ۱۰ \times ۴۵ \times ۰/۶ = ۷۵۱۶/۸(Lit)$$

در شکل ۷-۲۲ شماتیک یک نمونه مخزن سوخت اصلی را نشان می‌دهد همانطور که مشاهده می‌شود مخزن سوخت روزانه استفاده نشده‌است زیرا مصرف سوخت مشعل و در نتیجه حجم مخزن سوخت اصلی پایین است لذا مخزن سوخت اصلی در داخل موتورخانه نصب شده است.



شکل۷-۲۲:شماتیک مخزن سوخت اصلی بدون مخزن سوخت روزانه

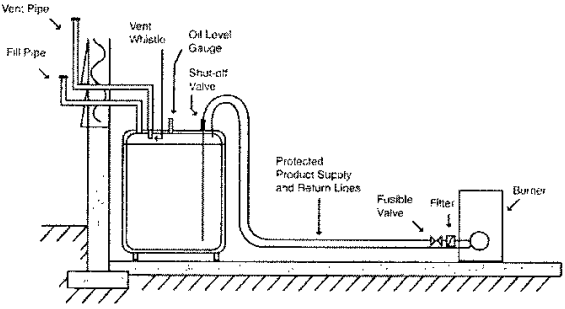
لوله‌کشی سوخت پمپ مشعل

انتقال گازوئیل از مخزن سوخت به مشعل از لحاظ محل قرارگیری به دو صورت ثقلی و مکشی تقسیم‌بندی می‌شود.

ثقلی

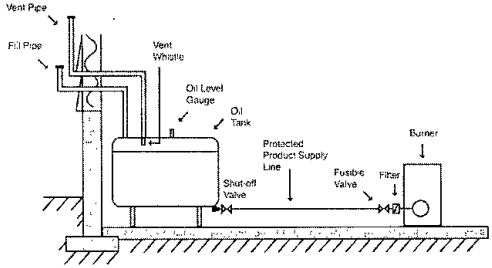
در سیستم ثقلی منبع سوخت بالاتر از سطح مشعل قرار دارد. در این سیستم مکش سوخت از مخزن به دو شکل می‌تواند انجام شود.

۱- سیفونی:لوله رفت و برگشت سوخت به صورت سیفونی از بالای مخزن به درون سوخت وارد می‌شود. لوله مکش باید حداقل ۱۰ سانتی‌متر از کف مخزن بالاتر بوده و مجهز به سوپاپ مکش باشد.



شکل ۷-۲۳: شماتیک لوله‌کشی سیفونی(دو لوله‌ای)

۲- مستقیم: در این روش احتیاجی به لوله برگشت نبوده و لوله مکش مستقیماً به مخزن و ۱۰ سانتی‌متر بالاتر از کف مخزن نصب می‌شود. لوله انتقال سوخت از مخزن باید به سمت مشعل شیب منفی داشته باشد تا احتمال گیر افتادن هوا در آن وجود نداشته باشد. در دیگ‌خانه‌هایی که بیش از یک بویلر در حال بهره‌برداری است بهتر است انتقال سوخت برای هر مشعل از طریق لوله مجزا صورت گیرد و از لوله مشترک استفاده نشود.



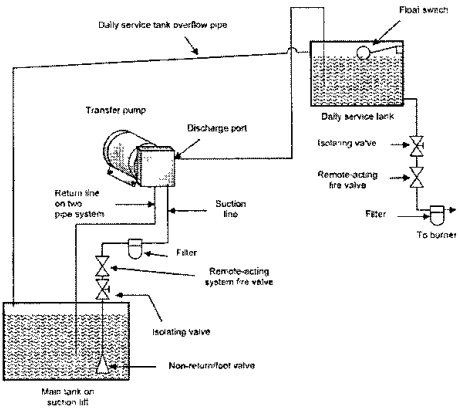
شکل ۷-۲۴: شماتیک لوله‌کشی مستقیم

مکش

در سیستم مکشی مخزن سوخت پایین‌تر از سطح مشعل قرار دارد. در این سیستم به چند شکل می‌توان به مشعل سوخت رسانی کرد.

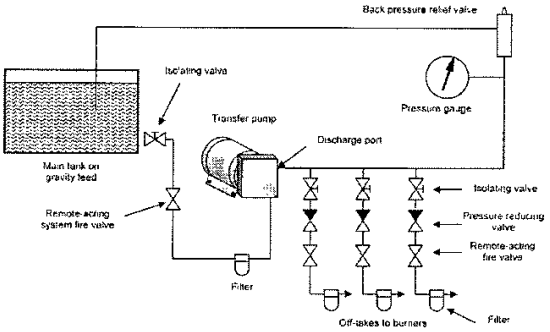
۱- چنانچه اختلاف سطح مشعل و مخزن زیاد نباشد(کمتر از ۴/۵متر) با مراجعه به کاتالوگ سازنده پمپ مشعل و اطمینان از قابلیت مکش پمپ در ارتفاع مورد نظر می‌توان لوله رفت و برگشت گازوئیل را از بالا وارد مخزن سوخت نمود. در این حالت پمپ مشعل مستقیماً سوخت را از مخزن مکش می‌کند. لوله مکش باید حداقل ۱۰ سانتی‌متر از کف مخزن بالاتر بوده و مجهز به سوپاپ مکش باشد.

۲- چنانچه مخزن دفنی با مشعل فاصله زیادی داشته باشد می‌بایست به کمک مخزن سوخت روزانه و نصب پمپ انتقال از مخزن اصلی به مخزن روزانه و به شکل ثقلی به مشعل سوخت رسانی کرد.



شکل ۷-۲۵: شماتیک انتقال سوخت با مکش منفی

۳- استفاده از پمپ انتقال و حلقه تامین سوخت: این سیستم که هم در مخزن‌های دفنی و هم مخزن‌های سطحی کابرد دارد برای دیگ‌خانه‌هایی مناسب است که بیش از دو دیگ در حال کار دارند. در این سیستم یک حلقه انتقال به کمک پمپ انتقال سوخت، گازوئیل را به‌گردش در می‌آورد. ظرفیت پمپ انتقال برابر با حداکثر گازوئیل مورد نیاز در بار کامل است.

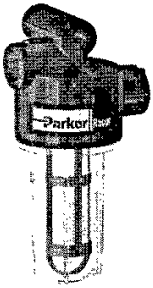


شکل ۷-۲۶: شماتیک حلقه گردشی سوخت

حلقه گردشی سوخت مجهز به یک سوپاپ است تا چنانچه تعداد بویلرهای در حال کار کاهش یافت مازاد سوخت پمپ شده از سوی پمپ انتقال را به مخزن بازگرداند. در این سیستم سوخت همواره پشت مشعل محیاء بوده و هر زمان که بویلر بخواهد استارت کند سوخت کافی برای مشعل وجود دارد. برای جلوگیری از هوا گرفتن در حلقه گردشی باید در بالاترین نقطه یک ایرونت نصب شود تا سیستم را هواگیری نماید. سرعت مجاز گازوئیل در خط انتقال نباید از ۲متر بر ثانیه تجاوز نماید.

فیلتر گازوئیل

به جهت حذف ذرات ناخالصی موجود در گازوییل و محافظت از پمپ و نازل مشعل‌های گازوییلی لازم است در مسیر ورود گازوییل به مشعل از فیلتر مناسب گازوییل استفاده شود.



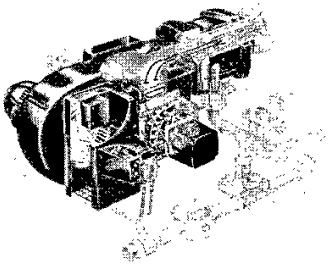
شکل ۷-۲۷: صافی گازوئیل

مشعل گازسوز[1]

مشعل‌های گاز سوز برای ایجاد احتراق نیازی به اتمیزه کردن سوخت ندارند و ورود گاز با فشار

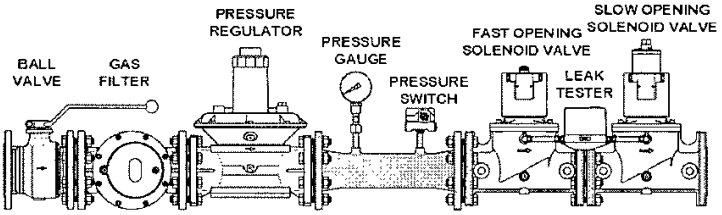
1- Gas Burner

مناسب و هوای کافی و ایجاد جرقه به تشکیل شعله خواهد انجامید. مشعل‌های گازسوز در کشورمان با گاز طبیعی کار می‌کنند.



شکل ۷-۲۸: برش خورده مشعل ساخت *Weishaupt*

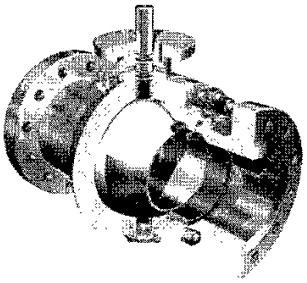
برای بررسی مشعل‌های گازسوز باید ابتدا با خط گاز ورودی به مشعل آشنا شویم. مدار گاز یک مشعل صنعتی، عموماً شامل قطعات شکل زیر است.



شکل ۷-۲۹: شماتیک خط گاز مشعل

شیر قطع‌کننده دستی[1]

شیر دستی در ابتدای خط گاز نصب می‌شود. با بستن این شیر در ورودی، گاز در همه کنترل‌کننده و مشعل قطع شده و امکان جداسازی آنها را فراهم می‌کند. شیر دستی روی خط گاز مشعل که توسط سازنده ارائه می‌شود عموماً وجود ندارد امّا این شیرها برای راه‌اندازی و عملکرد عادی لازم است. شیر دستی باید قابلیت کارکرد با فشار ۱/۵ برابر حداکثر فشار تغذیه را داشته باشد.



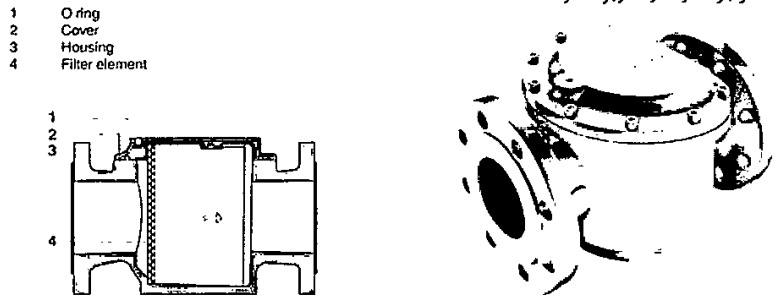
شکل ۷-۳۰: برش خورده شیر ربع گرد دستی

1- Ball Valve

عملکرد این شیرها ربع‌گرد است و عملکرد آنها صرفاً در حالت باز و بسته است.شیرهای دستی به گونه‌ای طراحی می‌شود که تغییر وضعیت غیر عمدی در آنها ممکن نباشد.

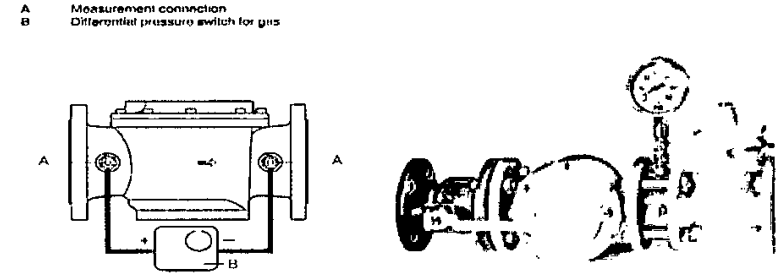
فیلتر[1]

تجهیزات خط گاز مانند رگلاتور و شیرهای برقی در مقابل ناخالصی‌هایی مانند زنگ لوله و آشغال حساس هستند. فیلترهای گاز جهت محافظت تجهیزات در مقابل نفوذ ذرات خارجی، رسوبات و سایر ذرات موجود در گاز کاربرد دارد.



شکل ۷-۳۱: فیلتر گاز

عملکرد فیلتر گاز بسیار ساده است. شیر متشکل از یک بدنه آلمینیومی و یک پد از الیاف پلی‌پروپیلن است. پد فیلتر متشکل از سوراخ‌های کوچک‌تر از ۵۰ میکرون است. این پد یک بار مصرف بوده و می‌بایست حداقل سالی یک بار تعویض شود و قابل تمیز کردن نیست. فیلترهای گاز در ورودی و خروجی مجهز به کانکشنی هستند که می‌تواند با نصب یک سوئیچ اختلاف فشار ، اختلاف فشار ورودی و خروجی فیلتر را را بدست آورد. چنانچه این اختلاف از حداکثر افت مجاز فیلتر بیشتر شود زمان تعویض فیلتر فرا رسیده است. در زمان نصب فیلتر باید در اطراف آن فضای کافی در نظر گرفته شود تا در صورت نیاز به تعویض پد امکان باز و بسته کردن فیلتر وجود داشته باشد. مسیر ورودی و خروجی فیلتر روی آن مشخص شده است فلذا باید در زمان نصب دقت نمود تا جهت جریان گاز درون فیلتر با جهت فلش یکسان باشد. نوع قرارگیری فیلتر نیز باید مطابق شکل(۷-۳۲) باشد.



شکل ۷-۳۲: فیلتر گاز

1- Gas Filter

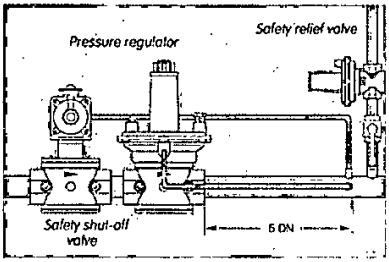
مدار تقلیل فشار

خطوط انتقال گاز همواره فشاری بالاتر از فشار مورد نیاز مشعل‌های صنعتی دارند. از این بابت می‌بایست با نصب یک ایستگاه تقلیل فشار، فشار psi ۳۰-۶۰ خطوط را به فشار مورد نیاز مشعل تقلیل داد. مدار تقلیل فشار شامل سه بخش اصلی است.

۱- رگلاتور گاز

۲- شیر اطمینان

۳- شیر قطع‌کننده ایمنی

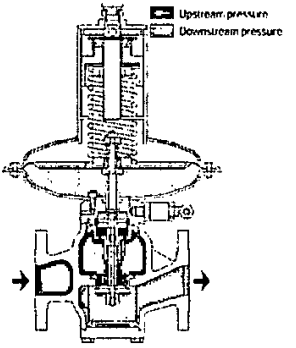


شکل ۷-۳۳: اجزاء مدار تقلیل فشار گاز

رگلاتور[1]

وظیفه رگلاتور تامین فشار ثابت مورد نیاز مشعل است. برای انتخاب سایز مناسب رگلاتور به فشار ورودی، فشار خروجی و حداکثر جریان گاز مورد نیاز احتیاج است.

شکل ۷-۳۴ اجزاء یک رگلاتور گاز را نشان می‌دهد. عملکرد رگلاتور براساس برآیند نیروهای فنر، نیروی اختلاف فشار ورود و خروج و نیروی حاصل از وزن قطعات خواهد بود.



شکل ۷-۳۴: برش خورده رگلاتور گاز

مراحل عملکرد

۱- گاز با فشار وارد رگلاتور شده و از آن می‌گذرد. این عمل تا آنجا ادامه پیدا می‌کند که فشار بعد از رگلاتور به فشار تنظیم شده برسد. در این فشار گازی که توسط خط سنس وصل شده از پایین دست رگلاتور به زیر دیافراگم آمده است سبب بالا رفتن دیافراگم شده و مسیر را مسدود می‌کند.

۲- زمانی که مشعل شروع به کار می‌کند و شیر برقی باز می‌شود با افت فشار گاز بعد از رگلاتور فشار زیر دیافراگم کاهش یافته و فنر دیافراگم را به پایین هل می‌دهد و در نتیجه مسیر خروجی مجدداً

1- Pressure Regulator

گشوده می‌شود.

نیروی وارد شده از بالا توسط فنر با فشار خروجی گاز در زیر دیافرگم موازنه شده و در نتیجه فشار خروجی همواره ثابت می‌ماند.

با توجه به آنکه تنظیم فشار خروجی به کمک فنر انجام می‌شود و یک فنر نمی‌تواند رنج وسیعی از فشار را پوشش دهد تولید کنندگان، رگلاتور را با فنرهای مختلف که با رنگ‌بندی مختلف مشخص شده‌اند ارائه می‌دهند. بدین ترتیب کاربر می‌تواند با مراجعه به کاتالوگ سازنده با توجه به فشار مورد نیاز سیستم فنر مناسب را انتخاب کند.

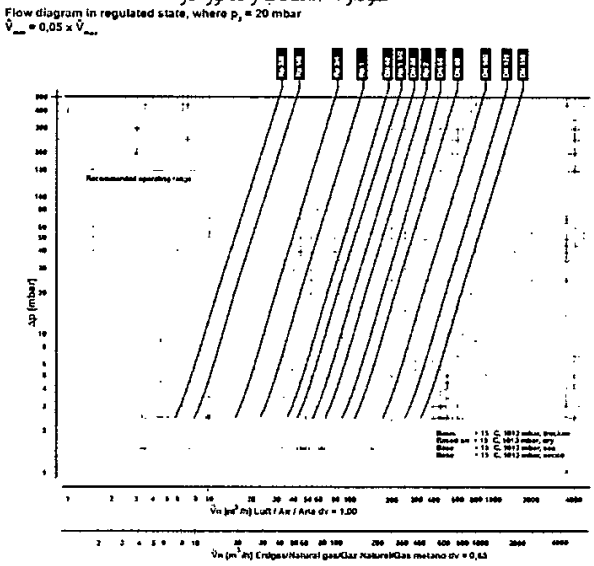
انتخاب رگلاتور

انتخاب رگلاتور مناسب برای مشعل مستلزم محاسبه گاز مورد نیاز مشعل و اعمال ضریب اطمینان در آن است. حجم گاز مورد نیاز مشعل (متر مکعب بر ساعت) با توجه به شرایط گاز ایران از رابطه زیر محاسبه می‌گردد :

$$\text{حجم گاز} = \frac{\text{ظرفیت مشعل (کیلوکالری)}}{۹۰۰۰}$$

رگلاتور گاز باید بتواند ۳۰٪+ گاز مورد نیاز مشعل را تامین نماید. فشار گاز خروجی از رگلاتور نیز برای مشعل‌های تا ظرفیت۵۰۰,۰۰۰ کیلوکالری در ساعت حداقل ۲۰ میلی بار و برای مشعل‌های ۵۰۰,۰۰۰-۱,۵۰۰,۰۰۰ کیلوکالری در ساعت حداقل ۵۰ میلی بار و در ظرفیت‌های بالاتر ۱۰۰ الی ۱۵۰ میلی بار تنظیم می‌گردد. لازم به ذکر است در مشعل‌های تا ۵۰۰,۰۰۰ کیلوکالری در ساعت احتیاجی به رگلاتور نیست و رگلاتور نصب شده توسط شرکت گاز درب منزل آنرا تامین می‌کند.

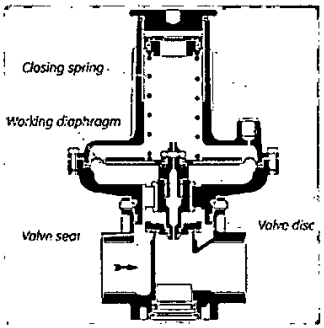
نمودار ۷-۱:انتخاب رگلاتور گاز



نمودار فوق مربوط به رگلاتورهای شرکت دانگز برای خروجی ۲۰میلی بار است. با تقاطع دادن اختلاف فشار از محور عمودی سمت چپ با خطوط مایل مربوط به هر سایز می‌توان دبی گاز عبوری از رگلاتور را در سایزهای مختلف محاسبه نمود.

شیر اطمینان[1]

چنانچه به هر دلیل فشار خروجی از رگلاتور بالا برود شیر اطمینان با آزاد کردن بخشی از گاز(حداثر ۲۰٪) به اتمسفر از ازدیاد فشار ورودی به مشعل و احیاناً ایجاد خطر احتمالی جلوگیری می‌کند. نقطهٔ تنظیم شیر اطمینان معمولاً ۴۰٪ بالاتر از فشار خروجی از رگلاتور در نظر گرفته می‌شود.

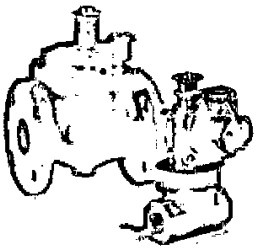


شکل ۷-۳۵: برش خورده شیر اطمینان

عملکرد شیر اطمینان خطوط گاز مشابه رگلاتور است با این تفاوت که نیروی گاز زیر دیافراگم به جای فشار خروجی از فشار ورودی به شیر گرفته می‌شود. بنابراین با بالا رفتن فشار گاز دیافراگم بالا رفته و مسیر خروجی باز می‌شود. بدین ترتیب بخشی از گاز به اتمسفر تخلیه می‌گردد.

شیر قطع ایمن[2]

شیر قطع ایمن وظیفه دارد درصورت افزایش غیرعادی فشار خروجی از رگلاتور (بیش از ۸۰٪ از فشار تنظیم شده رگلاتور) مسیر ورودی گاز را به طور کامل مسدود نماید. محل نصب شیر قطع ایمن قبل از رگلاتور بوده اما سنس فشار آن از بعد از رگلاتور گرفته می‌شود.

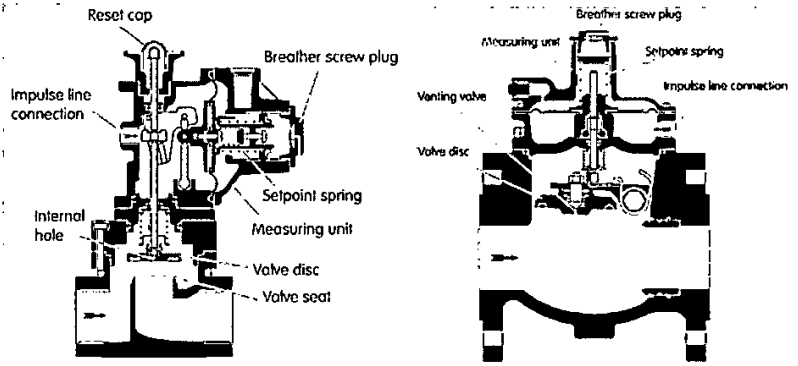


شکل ۷-۳۶: شیر قطع ایمن

1- Safety Relief Valve
2- Safety Shut-Off Valve

طریقه عملکرد

در قسمت فوقانی شیر یک فنر و دیافراگم وجود دارد که فشار بر روی دیافراگم از سوی فنر اعمال می‌شود. فشار گاز نیز از پایین به دیافراگم فشار می‌آورد. هر زمان که فشار گاز از فشار تنظیم شده توسط فنر فراتر رود گاز دیافراگم را به طرف بالا هل می‌دهد. با صعود دیافراگم ضامن متصل به دریچه موجود در پایه شیر آزاد شده و مسیر خروجی مسدود می‌شود. شیر قطع ایمن در این حالت مانند یک شیر یک‌طرفه که بر عکس نصب شده است عمل کرده و اجازه عبور گاز را نخواهد داد.



شکل ۷-۳۷: اجزاء دو نوع شیر قطع ایمن

تقلیل فشار پکیج

این رگلاتورهای گاز به صورت پکیج ساخته می‌شوند. یعنی رگلاتور، شیر قطع ایمن و شیر اطمینان به صورت یک جا در یک بدنه نصب شده است.

شکل ۷-۳۸: تقلیل فشار پکیج

طریقه عملکرد

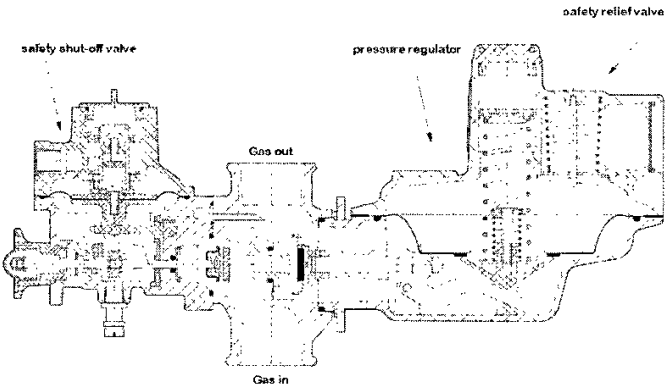
۱- گاز با فشار وارد رگلاتور شده و دیسک متصل به دیافراگم را هل داده و از آن می‌گذرد. این عمل تا آنجا ادامه پیدا می‌کند که فشار بعد از رگلاتور به فشار تنظیم شده برسد. در این فشار گاز خروجی سبب بالا رفتن دیافراگم شده و دیسک متصل به اهرم را به جلو هل می‌دهد و در نتیجه مسیر مسدود می‌شود.

۲- زمانی که مشعل شروع به کار می‌کند و شیر برقی باز می‌شود با افت فشار گاز بعد از رگلاتور فشار زیر دیافراگم کاهش یافته و سبب پایین آمدن دیافراگم می‌شود در نتیجه دیسک متصل به اهرم را

به عقب هل داده و مسیر خروجی را می‌گشاید.

۳- چنانچه فشار خروجی به هر دلیل بالا رود فشار گاز دیافراگم شیر اطمینان را بـه بـالا هـل داده و مسیر ونت خروجی گشوده می‌شود و بخشی از گاز را به اتمسفر تخلیه می‌کند.

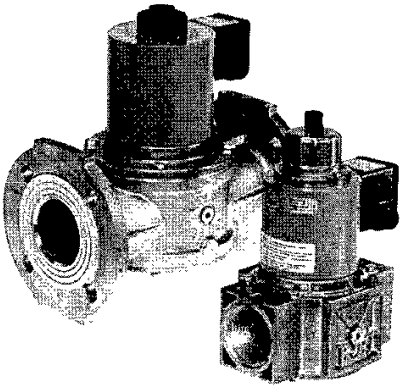
۴- چنانچه فشار به صورت غیر عادی بالا رود(بیش از ۸۰٪) فشار گاز خروجی به دیافراگم شیر قطـع ایمن مستقر در سمت چپ رگلاتور فشار آورده و ضامن را آزاد می‌کند. با آزاد شدن ضامن فنـر دیـسک را به جلو هل داده ومسیر عبور گاز را به طور کامل مسدود می‌کند.



شکل ۷-۳۹: اجزاء شیر تقلیل فشار پکیج

شیر برقی گاز

شیرهای برقی گاز از جنس آلمینیوم ساخته می‌شود و مشابه شیر برقی آب و بخار مجهز به یک سـیم پیچ (بوبین) است که با برق دار شدن سیم پیچ و ایجاد میدان مغناطیسی هسته آهنی متـصل بـه دیـسک جذب شده و آنرا از روی نشیمنگاه به بالا می‌کشد و در نتیجه مسیر عبور گاز گشوده می‌شود. با قطع برق و از بین رفتن میدان مغناطیسی دیسک مجدداً به پایین حرکت کرده و مسیر مسدود می‌شود. یک فنـر در مسیر برگشت به بسته شدن سریع و کامل دیسک کمک می‌کند.

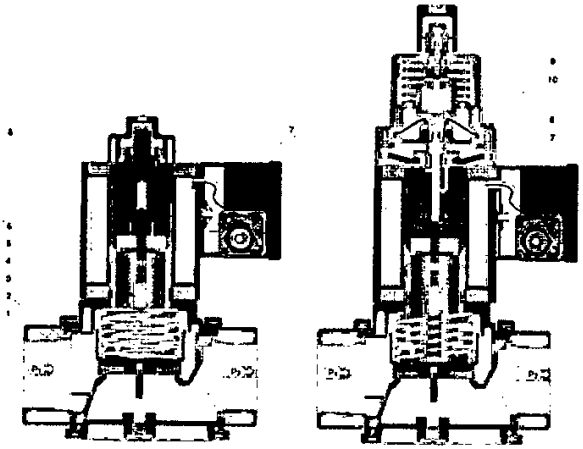


شکل ۷-۴۰: شیر برقی گاز

شیرهای برقی گاز از لحاظ نحوه باز و بسته شدن به دو صورت تک ضرب و تدریجی تقسیم‌بندی می‌شوند.

تک ضرب[1] (سریع باز شونده و سریع بسته شونده)

در شیر تک ضرب با برق دار شدن سیم پیچ شیر فوراً باز شده و جریان گاز از آن عبور می‌کند و با قطع برق نیز سریعاً بسته می‌شود. شیرهای تک ضرب در کنترل گاز مشعل‌های کوچک به‌تنهایی جهت قطع و وصل گاز به مشعل استفاده می‌شود. اما در مشعل‌های بزرگ‌تر تنها به عنوان شیر ایمنی در خط گاز نصب می‌شود و شیر تدریجی است که وظیفه تامین گاز مشعل را به عهده دارد.



1	Housing	5	Armature		Setting
2	Sieve	6	Solenoid coil	8	- Main volume
3	Valve plate	7	Electrical connection	9	- Fast stroke
4	Closing spring			10	- Hydraulic brake

شکل ۷-۴۱: اجزاء شیر برقی گاز تک مرحله

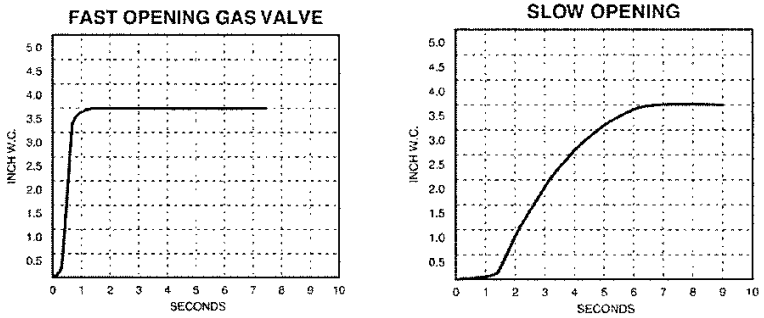
شیر تدریجی[2] (آرام باز شونده و سریع بسته شونده)

عملکرد شیر تدریجی مشابه شیر تک ضرب است با این تفاوت که با برق دار شدن سیم پیچ و جذب هسته آهنی شیر به آرامی باز می‌شود. کنترل این فرآیند شبیه به کمک فنر خودرو است. در بالای شیر یک محفظه روغن قرار دارد که با برق دار شدن سیم پیچ و بالا رفتن هسته آهنی روغن موجود در آن به آرامی تخلیه می‌شود و در نتیجه دیسک به آرامی از روی نشیمنگاه بالا رفته و مسیر را تدریجاً می‌گشاید. اما در مسیر برگشت، شیر تدریجی مشابه شیر تک ضرب عمل کرده و سریعاً بسته می‌شود. بعد از بسته شدن شیر روغن مجدداً به محفظه باز می‌گردد و سیکل ادامه پیدا می‌کند. در بالای شیر یک پیچ تنظیم وجود دارد که به کمک آن می‌توان سرعت تخلیه روغن را کم و یا زیاد نمود. بدین ترتیب سرعت باز

1- Fast opening, fast closing
2- Slow opening, fast closing

شدن شیر و دبی گاز عبوری در استارت مشعل تنظیم می‌شود.

همچنین در قسمت پایین بوبین یک پیچ تنظیم وجود دارد که با چرخش آن دبی گاز عبوری از شیر حین کار تنظیم می‌شود.

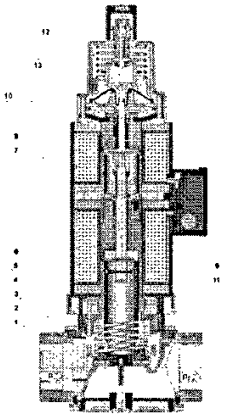


شکل ۷-۴۲: نمودار شیر تک‌ضرب و شیر تدریجی

در شیرهای تدریجی دبی گاز عبوری در استارت مشعل و دبی گاز عبوری از شیر حین کار قابل تنظیم است.

شیر برقی دو مرحله[1]

شیرهای برقی ۲ مرحله عملکردی مشابه شیرهای تدریجی معمولی دارند با این تفاوت که مجهز به دو میدان مغناطیسی هستند. با استارت مشعل ابتدا میدان مغناطیسی اول برق دار شده و مسیر گاز گشوده می‌شود. چنانچه مشعل بخواهد به مرحله دو برود(از شعله کوتاه به شعله بلند) میدان مغناطیسی دوم نیز برق دار شده و بدین ترتیب هر دو میدان مغناطیسی برق دار شده و شیر حداکثر گاز مورد نیاز مشعل را تامین می‌کند.



1 Housing
2 Sieve
3 Valve plate
4 Closing spring
5 Armature, stage 2
6 Solenoid, stage 2
7 Armature, stage 1
8 Solenoid, stage 1
9 Electrical connection
Setting
10 - Stage 1
11 - Stage 2
12 - Fast stroke
13 Hydraulic brake

شکل ۷-۴۳: اجزاء شیر برقی دو مرحله

1- Two Stage Valve

نشت یاب

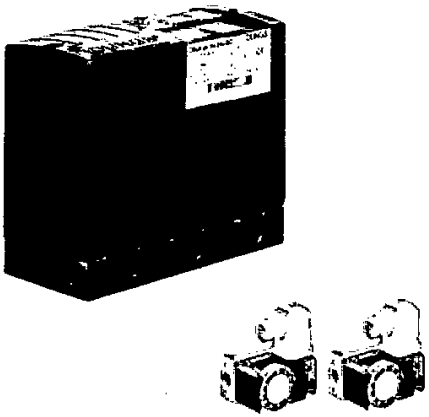
وظیفه دستگاه نشت یاب بررسی وضعیت نشتی شیرهای برقی است تا چنانچه بـه هـر علـت شـیرها دچار نشتی شدند برای جلوگیری از بروز خطرات احتمالی کد خطا اعلام کند و مشعل را از کار بی اندازد.

زمان تست خط توسط نشت یاب در زمان خاموشی مشعل صورت می‌گیـرد و در طـول زمـان تـست، مشعل استارت نمی‌کند. در صورتی که تست نشتی با موفقیت انجام شود، مشعل مجاز به اسـتارت مجـدد خواهد بود و در غیر این صورت مشعل دیگر اجازه استارت شدن را پیدا نمی‌کند.

دستگاه‌های تست نشتی گاز انواع مختلفی دارند که البته اصول کار همه آنها براساس فشار ثابت بـین دو شیر است.

سیستم تست نشتی[1]

این سیستم شامل یک و یا دو سوئیچ فشار و یک باکس کنترلر است که وظیفه آن برق دار کردن بـه موقع شیرهای برقی تک ضرب و تدریجی و دریافت فرمان از پرشر سوئیچ است.



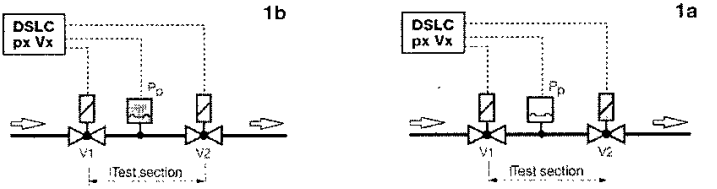
شکل ۷-۴۴: سیستم تست نشتی ساخت شرکت دانگز

مراحل عملکرد

مطابق شکل۷-۴۵ سوئیچ فشار بین شیرهای تک ضرب و تدریجی نصب شده و مدار برقی سـوئیچ و شیرها به کنترلر متصل می‌شود.

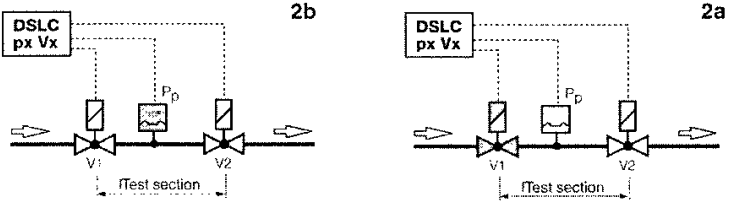
۱- تست شیر تک‌ضرب: کنترلر ابتدا شیر تدریجی(V2)را به مدت ۳ ثانیه برق دار کرده و مـی‌گـشاید تا گاز ما بین دو شیر تخلیه شده و فشار بین شیر تک‌ضرب(V1) و شیر تدریجی (V2) یا همـان محـدوده تست برابر فشار اتمسفر گردد(شکل1a)سپس شیر(V2) بسته می‌شود(شکل1b) و سوئیچ فـشار بـه مـدت ۲۵ ثانیه محدوده تست را مانیتور می‌کند. حال چنانچه شیر تک‌ضرب (V1) نشتی داشـته باشـد فـشار در محدوده تست افزایش می‌یابد و دستگاه پیام خطا می‌دهد.

1- system leakage test



شکل ۷-۴۵: مراحل عملکرد سیستم تست نشتی شیر تک‌ضرب

۲- شیر تدریجی(شکل۷-۴۶): بر عکس حالت اول کنترلر ابتدا شیر تک‌ضرب(V1)را به مدت ۳ ثانیه برق دار کرده و می‌گشاید تا فشار بین شیر تک‌ضرب(V1) و شیر تدریجی (V2) با همان محدوده تست برابر فشار خط گاز گردد(شکل2a)سپس شیر(V1) بسته می‌شود(شکل2b) و سوئیچ فشار به مدت ۲۵ ثانیه محدوده تست را مانیتور می‌کند. حال چنانچه شیر تدریجی(V2)نشتی داشته باشد فشار در محدوده تست کاهش می‌یابد و دستگاه پیام خطا می‌دهد.

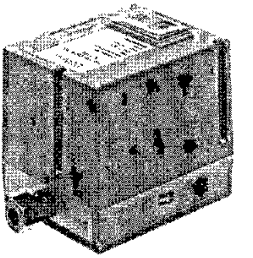


شکل ۷-۴۶: مراحل عملکرد سیستم تست نشتی شیر تدریجی

سیستم تست شیر [1]

از لحاظ عملکردی این سیستم نیز مشابه سیستم قبل بوده و براساس فشار ثابت بین دو شیر عمل می‌کند. تنها تفاوت آن در این است که در صورت بروز خطا مشخص نمی‌کند که کدام شیر (تک‌ضرب یا تدریجی) خراب است.

دستگاه متشکل از یک شیر برقی و یک پمپ دیافراگمی و سنسور فشار است. محل نصب دستگاه بین دو شیر برقی ورودی آن از قبل از شیر تک‌ضرب گرفته شده و خروجی آن به مابین دو شیر متصل است. البته در شیرهای برقی ساخت شرکت دانگز محل قرارگیری دستگاه روی شیرها از قبل مشخص شده است.

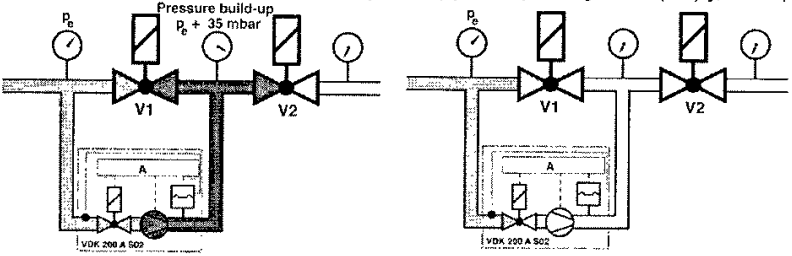


شکل ۷-۴۷: سیستم تست شیر برقی گاز ساخت شرکت دانگز

1- Valve monitoring system.

طریقه عملکرد

شیر تک‌ضرب(V1)و شیر تدریجی(V2) بسته شده و سپس پمپ دیافراگمی شروع به کار کرده و گاز را از پشت شیر (V1) مکیده و با فشاری بالاتر (۳۵+میلی بار) به محدوده تست می‌راند.



شکل ۷-۴۸: مراحل عملکرد سیستم تست شیر برقی گاز

پس از بالا رفتن فشار شیر برقی دستگاه بسته شده و محدوده تست به مدت ۳۵ ثانیه توسط سوئیچ فشار مانیتور می‌شود. به دلیل آنکه فشار بین دو شیر بیشتر از طرفین دیگر است چنانچه هر کدام از شیرها نشتی داشته باشد فشار کاهش خواهد یافت. حال چنانچه فشار ثابت بماند چراغ زرد رنگ روشن خواهد شد و در غیر این صورت چراغ قرمز به نشانه بروز کد خطا در سیستم روشن خواهد شد.

کنترل احتراق

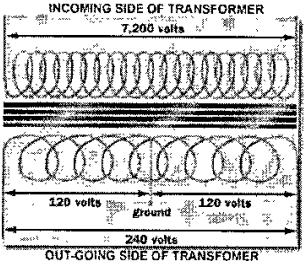
حال که با اصول عملکرد مشعل‌های گاز سوز و مایع سوز آشنا شدیم نوبت به بررسی کنترل کننده‌ها و تنظیم کننده‌های مشعل است. راه‌اندازی یک مشعل، ادامه کار آن و توقف کار مشعل مستلزم یک برنامه از پیش طراحی شده است تا هر کدام از اجزاء مشعل به موقع وارد کار شود و یا چنانچه هر کدام از اجزاء به وظیفه خود درست عمل ننماید مشعل از کار باز ایستد تا از بروز خطرات احتمالی جلوگیری شود. در این میان رله مشعل است که مانند رهبر ارکستر تنظیم می‌کند که چه زمانی دمنده شروع به کار کند و مدت زمان آن چقدر باشد، چه زمان جرقه زن شروع به فعالیت نماید و مدت زمان آن چقدر باشد و چه زمان سوخت وارد شود. حال چنانچه شعله تشکیل نشد چه فرآیندی رخ دهد و .... اینها همگی وظیفه رله مشعل است. اما پیش از آنکه به عملکرد رله بپردازیم می‌بایست با مفاهیم ویژه‌ای نظیر تهویه، جرقه اولیه، پس جرقه، زمان ایمنی، رویت شعله، نور مجازی و ... آشنا شویم.

جرقه

ترانس جرقه(ترانسفورماتور جرقه)

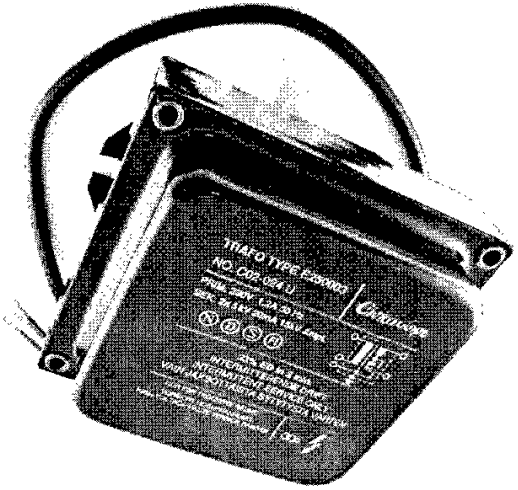
به طور کلی یک ترانسفورماتور بر دو اصل استوار است:

۱. جریان الکتریکی متناوب می‌تواند یک میدان مغناطیسی متغیر پدید آورد (الکترومغناطیس)
۲. یک میدان مغناطیسی متغیر در داخل یک حلقه سیم‌پیچ می‌تواند موجب به‌وجود آمدن یک جریان الکتریکی متناوب در یک سیم‌پیچ شود.



شکل ۷-۴۹: شماتیک ترانسفور ماتور کاهنده

اگر دو سیم پیچ را در کنار یکدیگر قرار داده و از یکی از آنها جریان متغیری عبور دهیم، در سیم پیچ دوم ولتاژی القاء می‌شود. در واقع با عبور جریان متغیر از سیم پیچ اولیه یعنی سیم پیچی که ورودی به آن اعمال می‌شود، در اطراف آن یک میدان مغناطیسی متغیر ایجاد می‌شود. این میدان متغیر، سیم پیچ دوم را قطع می‌کند و سبب القای ولتاژ در آن می‌شود. این پدیده اساس کار ترانسفورماتور است. البته باید دقت داشت که در یک ترانسفورماتور بین سیم پیچ‌های اولیه و ثانویه هیچ گونه تماس الکتریکی وجود ندارد و انرژی ورودی تماماً از طریق میدان مغناطیسی به ثانویه منتقل می‌شود. اغلب، سیم پیچ‌های اولیه و ثانویه را براساس ولتاژ آنها نامگذاری می‌کنند. یعنی سیم پیچی که برای ولتاژ کم ساخته شده است، سیم پیچ فشار ضعیف و سیم پیچی که برای ولتاژ زیاد ساخته شده است، سیم پیچ فشار قوی نامیده می‌شود. عملکرد ترانس جرقه نیز همانند ترانسفورماترهای دکل‌های انتقال برق(ترانسفورماتور کاهنده) است اما به شکل عکس(ترانسفورماتور افزاینده) بدین معنی که ترانس جرقه از ولتاژ پایین(ولتاژ برق شهری) ولتاژ بالا(معمولا۱۰,۰۰۰ولت) را ایجاد می‌کند. این ولتاژ در واقع بین۰-۱۵,۰۰۰ولت ۱۰۰ بار در ثانیه تغییر می‌کند و وقتی جرقه تشکیل شود این ولتاژ به شکل موثری پایین می‌افتد.



شکل ۷-۵۰: ترانس جرقه مشعل ساخت شرکت ترافو

الکترود جرقه

الکترود جرقه از یک میله فلزی معمولاً از جنس آلیاژ نیکل کروم ساخته می‌شود که توسط یک عایق سرامیکی عایق شده است. حداقل مقاومت بین سرامیک و زمین باید بزرگتر از ۶۰ مگا اهم باشد.

وظیفه الکترود جرقه زن، ایجاد جرقه و روشن کردن مخلوط سوخت و هوا می‌باشد. ولتاژ مورد نیاز ایجاد جرقه به وسیله ترانس جرقه تامین می‌شود. فاصله نوک الکترودها از یکدیگر ۳ تا ۵ میلی‌متر می‌باشد.

فاصله نوک الکترودها از نوک نازل در مشعل‌های گازوئیلی بستگی به زاویه نازل مطابق اندازه‌های زیر می‌باشد:

جدول۷-۳: راهنمای زاویه نازل مشعل

زاویه نازل	فاصله حدودی از نازل
۸۰درجه	۱ میلی‌متر
۶۰درجه	۳ میلی‌متر
۴۵درجه	۴ میلی‌متر
۳۰درجه	۵ میلی‌متر

زمان و مدت جرقه

شروع جرقه زنی بنابر طراحی مشعل‌ها متفاوت است اما اصولاً در مشعل‌های گاز سوز هم زمان با ورود سوخت بوده و در مشعل‌های مایع سوز قبل از خارج شدن سوخت از نازل جرقه زنی شروع می‌شود. به این جرقه زنی جرقه زنی اولیه گفته می‌شود. حال مدت زمانی که جرقه زده می‌شود تا شعله تشکیل شود را جرقه در طول شعله می‌نامند. همچنین مدت زمانی که از تشکیل شعله تا قطع جرقه زنی طول می‌کشد را پس جرقه می‌نامند.

رویت شعله

مشعل باید بتواند تشکیل شعله را تشخیص دهد تا چنانچه با ورود سوخت شعله تشکیل نشد مشعل را قطع ایمن(Lock Out) نماید. بعد از قطع ایمن مشعل برای راه‌اندازی مجدد باید به صورت دستی راه‌اندازی شود. دراکثر رله‌های مشعل‌های گاز سوز و مایع سوز یک چراغ قرمز رنگ روشن می‌شود که نشان از قطع ایمن دارد. این چراغ با یک دکمه به صورت یکپارچه روی رله تعبیه شده است که با فشار آن مشعل مجدداً راه‌اندازی می‌شود.رویت شعله در مشعل توسط شعله بین یا همان چشم مشعل صورت می‌گیرد.

شعله بین[1]

شعله بین‌های میله‌ای یونیزاسیون

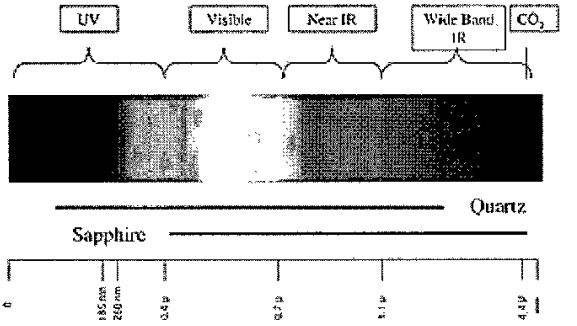
انرژی آزاد شده ناشی از احتراق باعث می‌شوند که الکترونها از اتمها آزاد شده و یونهای مثبت تشکیل گردد. الکترونها سبک هستند و از شعله فاصله می‌گیرند. ولی یونهای مثبت سنگین‌تر هستند و در نزدیکی شعله باقی می‌مانند. حال اگر دو الکترود نزدیک شعله قرار گیرند و ولتاژ DC روی الکترودها قرار گیرد در هنگام وجود شعله در اثر یونیزاسیون الکترونها جذب الکترودهای با بار غیر همنام می‌شوند و جریان الکتریکی بوجود می‌آید و با خاموش شدن شعله جریان الکتریکی نیز قطع می‌شود و بدین ترتیب می‌توان وجود یا فقدان شعله را اعلام کرد. در این روش یک پتانسیل خطرناک وجود دارد زیرا اگر یک اتصالی ناشی از ذرات معلق موجود در محیط ایجاد شود جریان شعله بین برقرار شده و وجود شعله اعلام می‌شود در حالیکه ممکن است شعله خاموش شده ولی جریان سوخت ادامه پیدا کند و این می‌تواند منجر به انفجار کوره شود. بنابراین با طراحی خاصی از شعله بین میله‌ای و استفاده از ولتاژ AC میتوان از خاصیت یک سو سازی شعله استفاده کرد و در این صورت در هنگام وجود شعله جریان الکتریکی دارای مولفه DC خواهد بود و در زمانیکه اتصالی بین الکترودها ایجاد شود بدلیل فقدان شعله جریان الکتریکی که ایجاد می‌شود فاقد مولفه DC خواهد بود بنابراین نقطه ضعف جدی سیستم با ولتاژ DC برطرف

1- Flame Detector

خواهد شد.

شعله بین‌های تشعشعی:

بطور کلی شعله یک پدیده الکترو مغناطیسی می‌باشد زیرا پس از تشکیل آن طیف وسیعی از امواج الکترومغناطیسی در فرکانسهای مختلف تولید و ساطع می‌شود که شامل امواج مادون قرمز، نور مرئی و ماوراءبنفش است. سوختهای مختلف در حین سوختن تشعشعات مخصوص به خود را تولید می‌کنند و نسبت بین شدت امواج با فرکانسهای مختلف در آنها متفاوت است و یکی از پارامترهای انتخاب شعله بین مناسب برای حفاظت شعله، نوع سوخت مورد استفاده است. در ضمن پدیده‌های غیر از شعله نیز می‌توانند منابع تشعشع امواج الکترومغناطیسی باشند مثل سطوح داغ داخل کوره و نور خورشید و جرقه و قوس الکتریکی جوشکاری و رعد و برق و اشعه X و غیره که می‌توانند منجر به بروز آلارمهای کاذب در سیستمهای شعله بین گردند که در تکنولوژیهای جدید برای حذف آنها تدابیر لازم اندیشیده شده است.



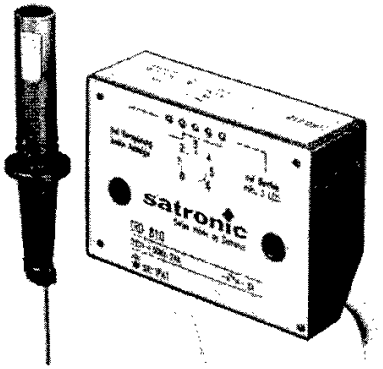
شکل ۷-۵۱: انواع نور

بطور کلی سه نوع شعله بین تشعشعی وجود دارد.

- مادون قرمز IR
- ماورابنفش UV
- نوع ترکیبی UV/IR

شعله بین‌های مادون قرمز IR

تابش فروسرخ یا به عبارتی «اشعه مادون قرمز» در علم فیزیک به قسمی از طیف امواج الکترومغناطیسی گفته می‌شود که طول موج آنها بلندتر از دامنه نور مرئی و کوتاه‌تر از دامنه امواج رادیویی باشند. امواج فروسرخ در بازه بسامدی ۳۰۰ گیگاهرتز تا ۴۰۰ تراهرتز و طول موج ۱ میلی‌متر تا ۷۵۰ نانومتر قرار می‌گیرند و برای آشکار سازی شعله از آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است سطوح داغ داخل کوره نیز امواج مادون قرمز در این محدوده فرکانسی را ساطع می‌نمایند بنابراین برای حذف امواج آنها و جلوگیری از بروز آلارم در شعله بین نیاز به تدابیر خاصی است. بطورکلی دو نوع شعله بین مادون قرمز تک فرکانسی و شعله بین‌های چند فرکانسی وجود دارد.



شکل ۷-۵۲: شعله بین مادون قرمز ساخت ساترونیک

شعله بین‌های تک فرکانس مادون قرمز

شعله بین‌های تک فرکانسی یک سنسور حساس با امواج مادون قرمز با طول۴۴۰۰- ۴۳۰۰ نانومترهستند که مربوط به شعله ناشی از سوختن سوختهای هیدروکربن است. بنابراین نسبت به تشعشعات ناشی از سطوح داغ درون کوره و نور خورشید و سایر منابع تشعشعی حساس نمی‌باشد در انواع جدید شعله بین‌های مادون قرمز دامنه(Intensity) و فرکانس (Flicker) امواج مادون قرمز اندازه‌گیری می‌شود .

شعله بین‌های مادون قرمز چند فرکانس:

سنسورهای مادون قرمز نسبت به تشعشعات با طول موج بیشتر از۱۱۰۰نانومتر حساسیت دارند که معمولاً ناشی از حرارت شعله یا سطوح داغ داخل کوره می‌باشد. محدوده فرکانسی۴۳۰۰ ~ ۴۴۰۰ مربوط به فرکانس رزونانس مولکولهای گاز کربنییک (CO_2) است که در هنگام سوختن سوختهای هیدروکربنی تشعشعات با این طول موج ساطع می‌شود در شعله بین‌های مادون قرمز چند فرکانس از دو یا سه سنسور استفاده می‌شود.

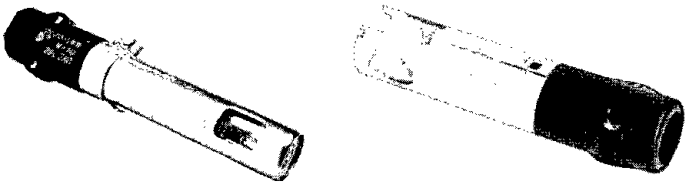
عینک دید در شب خلبانی

جالب است بدانید عینک‌های دید در شب نیز براساس سنجش تابش فروسرخ«اشعه مادون قرمز» که از حوزه دید انسان پنهان است طراحی شده‌است. کاری که عینک‌های دید در شب انجام می‌دهند این است که نور ضعیف محیط را که عملاً برای چشم غیرمسلح قابل رویت نیست تقویت نموده و پس از تبدیل به طیف قابل رویت آن را در یک صفحه دو بعدی در مقابل هریک از چشمان بیننده قرار می‌دهد در هر یک از لوله‌های عینک فوتونهای منعکس شده از یک شئ از اپتیکهایی عبور می‌کنند. اپتیکها تصویر آن شئ را در قسمت پیشین یک فتوکاتد ارسنیوری گالیمی متمرکز می‌سازند این فتو کاتد الکترونهارا به نسبت میزان فوتونهایی که از طرف آن شی به قسمت پیشین آن می‌آیند را به طرف بیرون پرتاب می‌کنند این فرایند توسط دو عدد باطری که در کلاه خلبان تعبیه شده با ایجاد یک حوزه مغناطیسی تشدید می‌شود. الکترون‌های آزاد شده از داخل یک صفحه ریز کانالی (ریز مجرایی)که خود به

شکل یک دایره‌ای کوچک بوده و دارای ۱۰میلیون لوله شیشه‌ای نازک می‌باشد کمانه می‌کنند این لوله‌های شیشه‌ای نازک ۸ درجه نسبت به الکترونهایی که به طرف آنها می‌آیند انحراف دارند و داخل آنها از ماده‌ای پوشانده شده که با هر بار کمانه کردن الکترونهای بیشتری را آزاد کرده و سیگنالهای ورودی را هزاران برابر تشدید می‌کند این الکترون‌های افشان یک صفحه فسفری را در عدسی چشمی عینک(دوربین)روشن می‌کنند و تصویر آن شئ را در فاصله یک اینچی چشم خلبان اشکار می‌سازند تصویری که به این طریق از صفحه بیرون در مقابل چشمان خلبان قرار می‌گیرد دارای زمینه سبز رنگ می‌باشد.

شعله بین‌های تشعشعی ماورابنفش (UV)

سنسور شعله بین‌های ماورا بنفش قادر به جذب انرژی تشعشعات در محدوده فرکانس با طول موج ۱۸۵-۲۶۰ نانومتر است. لازم به ذکر است تشعشعات UV خورشید دارای طول موج ۲۸۰ نانومتر است و در سنسورهای دقیق این طول موج حذف می‌شود بنابراین آلارم کاذب نخواهیم داشت. آشکار سازهای UV به اکثر شعله‌های ناشی از سوختهای هیدروکربنی (مخصوصاً گاز) و هیدروژن و غیره حساس هستند و بطور وسیع مورد استفاده قرار می‌گیرند ولی در مقابل نور ناشی از عوامل شعله مثل رعد و برق و اشعه X و جرقه و قوس الکتریکی جوشکاری حساس هستند.



شکل ۷-۵۳: شعله بین*QRA2* و شعله بین*UVZ780* عملکرد در طول موج۱۹۰-۲۷۰نانومتر

شعله بین‌های تشعشعی ترکیبی (IR/UV)

این نوع شعله بین‌ها دارای یک سنسور IR و یک سنسور UV می‌باشند که بطور مستقل عمل می‌کنند ولی دارای مدارات الکترونیک و قابلیت‌های مناسبی برای حذف آلارمهای کاذب هستند و زمان پاسخ دهی سریعی دارند ولی در مقابل آلودگیهای ناشی از روغن و بخارات آب نقطه ضعف دارنداین شعله بین برای تشعشع آتش ناشی از سوختهای هیدروکربنی در جائیکه سایر منابع تشعشعی مثل سطوح داغ و اشعه X و منابع الکتریکی وجود دارد مناسب می‌باشد.

شعله بین‌های بصری(visual)

شعله بین‌های بصری از جدیدترین تکنولوژی در تشخیص شعله استفاده می‌کنند. در این شعله بینها از تکنیکهای پردازش تصویری با استفاده از دوربین مدار بسته CCTV و الگوریتمهای پیشرفته استفاده شده است و براساس این الگوریتمها تصاویر زنده ویدیویی پردازش شده و مشخصات شعله موجود تفسیر می‌شود. با توجه به اینکه این سیستم از تصاویر ناشی از نور نامرئی استفاده می‌کند تشعشعات مادون قرمز ناشی از سطوح داغ داخل کوره تاثیری روی این سیستم ندارد ضمناً وجود ذرات آب روی لنز دوربین که

عملکرد شعله بین‌های مادون قرمز را مختل می‌کند نیز بی تاثیر است زیرا نور می‌تواند از آب عبور کند در حالیکه امواج مادون قرمز در آب جذب می‌شود از معایب این روش این است که فقط شعله را آشکار می‌کند و به آتشهای بدون شعله قابل توجه حساسیتی ندارد ضمناً شعله مشعل‌ها بصورت ویدیوئی قابل نمایش در مونیتورهای اتاق فرمان است که به اپراتورها در عملکرد صحیح بهره‌برداری از نیروگاه کمک کند.

تهویه

تهویه اولیه

یکی از علل اساسی انفجارات کوره بروز جرقه در زمانی است که مخلوط قابل انفجار سوخت و هوا در فضای داخل کوره و یا داکتهای عبور گاز خروجی کوره جمع شده باشد. دامنه و شدت انفجار نیز بستگی به میزان نسبت بین سوخت و هوای موجود در مخلوط قابل احتراق (در زمان بروز جرقه) است. از این رو بعد از آنکه فرمان سوئیچ فشار و یا ترموستات بویلر فرمان استارت به مشعل می‌دهد قبل از جرقه زنی و ورود سوخت برای آنکه مواد قابل احتراق از بویلر خارج شوند فن مشعل شروع به کار خواهد کرد. همچنین تهویه اولیه سبب می‌شود هوای ساکن داخل بویلر و دودکش قبل از احتراق شتاب بگیرد و در نتیجه فشار استاتیک بویلر در مقابل مشعل کاهش یابد.

تهویه بعد از احتراق

بعد از پایان یافتن احتراق به منظور زدودن بویلر و دودکش از وجود گازهای قابل اشتعال فن مشعل برای مدتی کوتاه به کار خود ادامه خواهد داد که به این عمل تهویه بعد از احتراق گفته می‌شود. تهویه بعد از احتراق اصولاً در مشعل‌های مایع سوز بزرگ انجام می‌گیرد و در مشعل‌های کوچک و گاز سوز همان تهویه اولیه کفایت کرده و مشعل نیازی به تهویه ثانویه ندارد.

زمان ایمنی

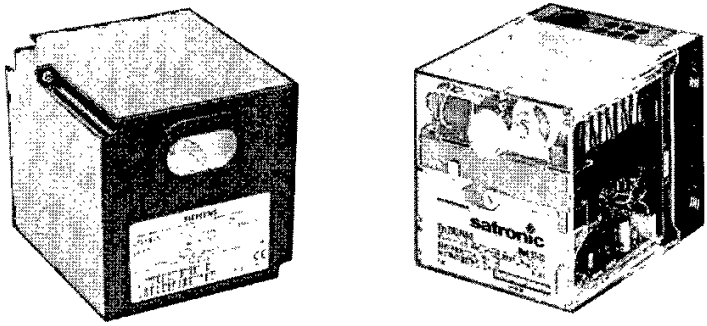
زمان ایمنی طولانی‌ترین زمانی است که سوخت بدون تشکیل شعله مجاز به خروج از نازل است. زیرا چنانچه سوخت وارد مشعل شود و شعله تشکیل نشود ممکن است در گرمای کوره ایجاد انفجار کند از این رو باید چنانچه شعله تشکیل نشد، ورود سوخت قطع شود.

تایمر (رله)مشعل

Control Box یا به اصطلاح رله مشعل در واقع رهبر ارکستر مشعل است. بدین مضموم که فرمان‌های اتوماتیک، نیمه اتوماتیک و دستی در راهبری دستگاه به این رله وارد شده و فرمان مناسب جهت ادامه کار مجموعه صادر می‌شود. به عبارتی با شناخت کامل از نوع فرمان‌های ورودی و خروجی و همچنین آشنایی با ایرادهای بوجود آمده در کنترل باکس‌ها می‌توان اغلب اشکالات در سیستم را حل کرد.

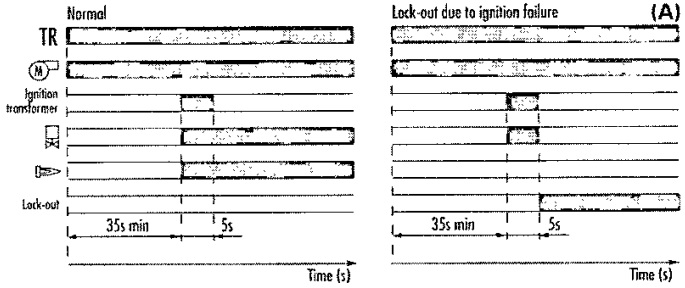
اغلب رله‌هایی که در دیگ‌های بخار و آب‌گرم و روغن داغ مورد استفاده قرار می‌گیرند مدل‌های LFL1.635 یا LFL 1.335 یا740-2, 740-3 SATRONIC TMG می‌باشد. تنوع این رله‌ها آنقدر زیاد است که تقریباً جهت هر نوع مشعل با هر نوع سوخت وکاربردی نوع خاصی از آنها طراحی شده است تا

مناسب‌ترین زمان‌ها در مشعل‌های مختلف گازی و گازوئیلی را برنامه‌ریزی کنند. تفاوت عمده انواع این رله‌ها در زمان‌بندی کاری و استفاده از نوع شعله بین در آنهاست.



شکل ۷-۵۴: رله *TMG*(شکل راست)،رله *LFL*(شکل چپ)

شکل۷-۵۵ عملکرد رله یک مشعل گاز سوز تک مرحله را نشان می‌دهد. محور افقی پایین معرف زمان است و در سمت چپ روی محور عمودی در کنار محورهای افقی نوع عملگر آن محور مشخص شده است. هر کجا که محور افقی مربوط به آن عملگر تیره باشد بیانگر فعالیت آن عملگر بوده و مدت زمان آن از روی محور افقی زمان قابل خواندن است.



شکل ۷-۵۵: مراحل عملکرد رله مشعل گاز سوز تک مرحله

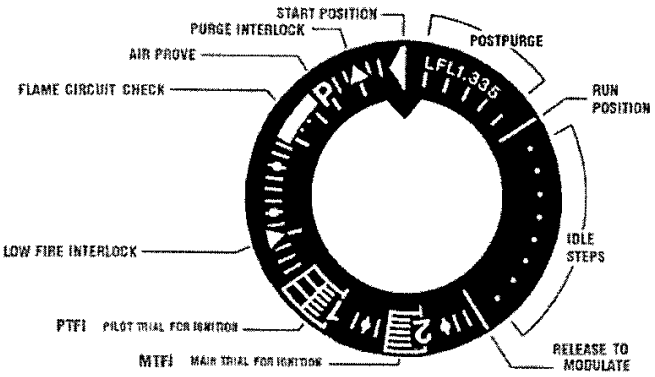
مراحل کار

با دریافت فرمان ترموستات فن مشعل شروع به کار می‌کند با گذشت ۳۵ ثانیه تهویه اولیه پایان یافته وترانس جرقه شروع به کار می‌کند. همزمان سوخت نیز وارد شده و به مدت ۵ ثانیه این فرآیند ادامه دارد و سپس جرقه زنی پایان می‌یابد. چنانچه شعله در این زمان تشکیل شده باشد سوخت تا مادامی که ترموستات فرمان قطع ندهد به ورود خود ادامه خواهد داد.

اما چنانچه بعد از جرقه زنی و ورود سوخت(۵ثانیه) شعله تشکیل نشود ورود گاز قطع شده و قطع ایمن (Lock out) صورت می‌گیرد و مشعل صرفاً باید به صورت دستی مجدداً راه‌اندازی شود.

در مشعل‌های تک مرحله عملکرد رله بسیار ساده است. حال هرچه مشعل بزرگ‌تر باشد و مراحل کار رله بیشتر شود نقشه عملکرد رله بزرگ‌تر می‌شود. در این رله‌ها یک نمایشگر دوار وجود دارد که با ذکر

علائمی(symbolic information) مرحله انجام فرایند احتراق را به اپراتور نشان می‌دهد. چنانچه به هر دلیل مشعل از کار بایستد اپراتور می‌تواند با مراجعه به آن و بررسی علائم از روی کاتالوگ سازنده رله علت خرابی را بیابد. شکل زیر مربوط رله مدل LFL 1.335 شرکت زیمنس است.



شکل ۷-۵۶: علائم سیمبولیک روی رله *LFL* شرکت زیمنس

انتخاب مشعل

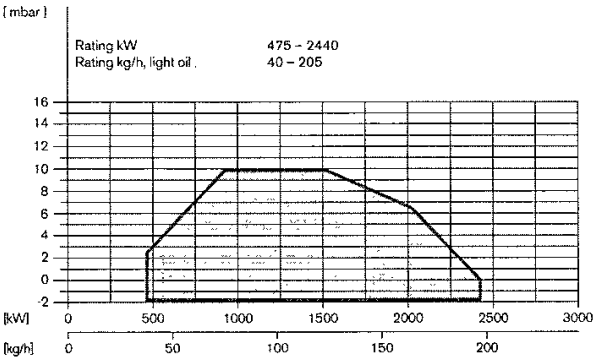
سازندگان مشعل قدرت حرارتی هر مشعل را در جدول‌هایی ارائه می‌دهند. این اعداد شامل حداقل و حداکثر قدرت حرارتی یک مشعل است. اما در این میان به چند نکته باید دقت نمود. اولاً این قدرت حرارتی از احتراق کامل سوخت با کیفیت استاندارد حاصل خواهد شد و چنانچه سوختی مانند گازوئیل با ناخالصی مانند آب همراه باشد عملاً قدرت حرارتی مشعل کاهش خواهد یافت. ثانیاً عدم تنظیم صحیح دمپر هوای مشعل نیز سبب کاهش یافتن ظرفیت حرارتی مشعل می‌شود.

ثالثاً ظرفیت‌های ارائه شده در کاتالوگ سازنده بر مبنای شرایط استاندارد(سطح دریای آزاد) است. این ظرفیت در واقع ظرفیت اسمی مشعل است و با تغییر ارتفاع چگالی هوا تغییر کرده و در نتیجه ظرفیت مشعل نیز تغیر می‌کند.

از آنجاییکه قدرت حرارتی مشعل در فشار اتسمفر(سطح دریای آزاد) به حداکثر خود می‌رسد برای انتخاب مشعل مناسب می‌بایست به ازاء هر ۱۰۰۰متر ارتفاع از سطح دریا ۱۳٪ به قدرت مشعل انتخابی افزود. بنابراین در شهرهایی که از سطح دریا ارتفاع زیادی دارند به مشعل‌های بزرگ‌تری نسبت به شهرهای پست احتیاج است. مثلاً در شهری مثل شهرکرد با ارتفاع۲۰۶۶متر از سطح دریا به مشعلی با ۲۶٪ ظرفیت بالاتر احتیاج است.

از طرف دیگر در اثر احتراق سوخت و دمیدن فن در داخل بویلر فشاری ایجاد می‌شود که به آن فشار محفظه احتراق و یا به اصطلاح فشار استاتیک می‌گویند. فشار استاتیک در بویلرها بستگی به نوع دیگ، تعداد پاس‌ها، طول کوره، سایز لوله‌های آتشخوار و نوع و طول و قطر دودکش دارد.

فشار استاتیک بویلر اصولاً بر حسب میلی بار نمایش داده می‌شود. تولید کنندگان مشعل همچنین در کاتالوگ محصولات خود منحنی‌هایی را ارائه می‌دهند که نشان می‌دهد نسبت به تغییرات فشار استاتیک قدرت حرارتی چه تغییراتی می‌کند.



شکل ۷-۵۷: عملکرد مشعل مایع سوز در فشارهای مختلف

انتخاب مشعل براساس مصرف سوخت

در این روش ابتدا باید دبی سوخت مصرفی مشعل را محاسبه کرده و سپس با مراجعه به کاتالوگ مشعل مناسب را انتخاب کنیم. برای محاسبه دبی مصرف سوخت از رابطه (۷-۳) استفاده می‌کنیم.

$$G = \frac{Q}{A \times \xi} \qquad (۳-۷)$$

که در این رابطه:

Q: مقدار ظرفیت حرارتی دیگ برحسب (KW)

A: ارزش حرارتی سوخت برحسب (Kj/Kg) و برای گازطبیعی (Kj/m3)

: راندمان مشعل

G: دبی سوخت بر حسب(kg/h) و برای گاز طبیعی بر حسب (m3/h)

تمرین:

در یک مشعل گازوئیلی با فرض اینکه ارزش سوخت آن برابرKj/Kg ۴۰۱۰۰ و بازده مشعل ۸۰ درصد باشد دبی سوخت مصرفی را بدست آورید.

حل:

برای محاسبه دبی سوخت مصرفی از رابطه (۷-۳) استفاده می‌کنیم.

$$G\left(\frac{Kg}{hr}\right) = \frac{Q(Kj/s)\times ۳۶۰۰}{A(Kj/Kg)\times \xi} = \frac{Q(KW)\times ۳۶۰۰}{۴۰۱۰۰\times ۰/۸} = ۰/۱۱Q(KW)$$

بنابراین اگر ظرفیت حرارتی دیگ بر حسب کیلو وات را در عدد ۰,۱۱ ضرب کنیم، مقدار مصرف سوخت مشعل گازوئیلی برحسب kg/h بدست می‌آید. و در سیستم متریک میزان مصرف سوخت مشعل گازوئیلی به صورت زیر بدست می‌آید:

$$G\left(\frac{Kg}{hr}\right) = \frac{Q(Kcal/hr)}{۱۰۰۰۰(Kcal/Kg)\times ۰/۸۰} = \frac{Q(Kcal/hr)}{۸۰۰۰}$$

و با توجه به اینکه جرم مخصوص گازوئیلkg/lit ۰/۸است به راحتی می‌توان مقدار سوخت را بر حسب لیتر، گالن و یا متر مکعب در ساعت بیان کرد.

برای تعیین دبی مصرف مشعل گازی نیز می‌توان از رابطه (۷-۴) استفاده کنیم. با استفاده از آن مقدار سوخت مصرفی به صورت زیر بدست می‌آید:

$$G\left(\frac{m^3}{hr}\right) = ۰/۱۰۶Q(KW) \qquad (۴-۷)$$

انتخاب مشعل براساس ظرفیت حرارتی

طبق مبحث چهاردهم مقررات ملی ساختمان ظرفیت حرارتی مشعل باید ۲۵ درصد بیشتر از ظرفیت حرارتی دیگ باشد لذا برای محاسبه ظرفیت حرارتی مشعل می‌توان از رابطه (۷-۵) استفاده کرد.

$$Q_{Burner} = ۱/۲۵Q_{Boiler} \qquad (۵-۷)$$

بعد از مشخص شدن ظرفیت مشعل براساس آن به کاتالوگ یکی از شرکت‌های سازنده مشعل مراجعه کرده و مشعل مناسب را انتخاب می‌کنیم.

دودکش

محصولات احتراق پس از تبادل حرارت با سطوح پره‌های دیگ باید از درون آن به خارج از ساختمان هدایت گردند برای این منظور از دودکش[1] استفاده می‌شود. در اصل دودکش برای خارج کردن محصولات احتراق از داخل محفظه احتراق دیگ و ایجاد مکش یا کاهش فشار در داخل آن، مورد استفاده قرار می‌گیرد. و معمولاً در بالاترین فاصله ارتفاعی دیگ نصب می‌شود. بیشترین تلفات محفظه احتراق مربوط به گازهای خروجی از دودکش است و هرچه دمای این گازها کمتر باشد، راندمان محفظه احتراق افزایش می‌یابد البته دمای این گازها نباید از حدی پایین‌تر بیاید. مکانیزم کار دودکش براساس نیروی شناوری است بدین صورت که دمای گازهای حاصل از احتراق نسبت هوای بیرون دمای بالاتری دارند و لذا دارای چگالی کمتری هستند و در نتیجه در اثر این اختلاف چگالی به سمت بالا جریان می‌یابند. محاسبه قطر و اجرای صحیح دودکش در ساختمان‌ها تاثیر قابل ملاحظه‌ای در عملکرد دیگ و مشعل دارد.

تعاریف مربوط به دودکش‌ها

۱) **دودکش القایی(اجباری):** قسمتی از دودکش که به کمک یک بادزن گازهای حاصل از احتراق را در فشار استاتیک منفی (مکشی) به خارج منتقل می‌کند.

۲) **دودکش رانشی(اجباری):** قسمتی از دودکش که به کمک یک بادزن گازهای حاصل از احتراق را در فشار استاتیک مثبت (رانشی) به خارج منتقل می‌کند.

۳) **دودکش با دمای پایین:** دودکشی که برای انتقال گازهای حاصل از دستگاه با سوخت مایع یا گاز، با دمای حداکثر ۵۳۸ درجه سانتی‌گراد (۱۰۰ درجه فارنهایت)، در شرایط عادی کار دستگاه، طراحی و آزمایش شده باشد. اندازه‌گیری دما در نقطه خروج از دستگاه صورت می‌گیرد.

۴) **دودکش یک جداره:** لوله‌ای فلزی که از ورق فولاد گالوانیزه با حداقل ضخامت یک میلی‌متر و یا ورق فولادی سیاه با حداقل ضخامت ۱/۵ میلی‌متر ساخته شده است.

۵) **دودکش دو جداره:** دو دوکش یک جداره که با فاصله حداقل ۲۵ میلی‌متر در داخل هم

---

1 -Chimney

قرارگرفته و به صورت هم محور می‌باشند.

۶) **دودکش قائم فلزی:** دودکش قائم و یا تقریباً قائم فلزی، دودکشی است که به صورت قطعات گرد و یا چهارگوش از ورق‌های فولادی گالوانیزه ساخته می‌شود.

۷) **شافت قائم ساختمانی:** یک شافت قائم یا تقریباً قائم که شامل یک یا چند معبر عبور دود، برای انتقال محصول احتراق یک یا چند دستگاه با سوخت مایع یا گاز به هوای خارج از ساختمان.

۸) **دودکش قائم ساختمانی (معبر قائم ساختمانی دود):** دودکش قائم ساختمانی، دودکشی است که با لوله‌هایی از مواد نسوختنی (لوله‌های سیمانی، آزبست سیمانی، مصالح ساختمانی و مواد مشابه) مناسب برای دمای دودکش، ساخته می‌شود. قسمت پایین دودکش قائم باید حداقل به‌اندازه ۳۰ سانتی‌متر در زیر اتصال رابط ادامه یابد. در انتهای پایین دودکش قائم ساختمانی باید دریچه بازدید، به منظور تمیز کردن ادواری آن پیش‌بینی گردد. دهانه خروجی دودکش باید حداقل یک متر از نقطه‌ای از بام که دودکش از آن خارج می‌شود، بالاتر باشد. این دهانه خروجی باید از بلندترین قسمت ساختمان در شعاع ۳ متری از دودکش، دست کم ۶۰ سانتی‌متر بالاتر باشد.

۹) **لوله رابط دودکش:** لوله‌ای که گازهای حاصل از احتراق را، از یک دستگاه با سوخت مایع یا گاز، به دودکش قائم منتقل کند این قسمت از دودکش معمولاً نسبت به سطح افقی شیبدار است(شیب آن حداقل دو درصد و از سمت دودکش قائم به سمت دستگاه می‌باشد) و دارای مشخصات زیر است:

۱- لوله رابط تا حد ممکن کوتاه و مستقیم باشد و از ایجاد زانوهای کوتاه و خم‌های تند (که ممکن است موجب اختلال در جریان دود شود) پرهیز گردد.

۲- قطر لوله رابط دودکش باید حداقل برابر قطر دهانه خروجی دستگاه و یا کلاهک تعادل آن باشد.

۳- لوله رابط دودکش باید با بست و تکیه‌گاه مناسب، برای وزن و دمای آن، به اجزای ساختمان ثابت و مهار گردد.

۴- لوله رابط دودکش باید از ورق فولادی ساخته شود و برای اتصال قطعات و تقویت آن از پروفیل‌های فولادی استفاده گردد. جنس لوله رابط دودکش با دمای پایین باید ورق فولادی گالوانیزه باشد.

۵- ضخامت ورق فولادی گالوانیزه مربوط به لوله رابط دودکش با دمای پایین، نباید از اعداد داده شده در جدول (۷-۴) کم‌تر باشد.

جدول ۷-۴:حداقل ضخامت ورق فولادی گالوانیزه مربوط به لوله رابط دودکش با دمای پایین

قطر لوله رابط دودکش		ضخامت ورق فولادی گالوانیزه	
سانتی‌متر	اینچ	میلی‌متر	اینچ
تا ۱۲	تا ۵	۰/۶	۰/۰۲۲
۱۳ تا ۲۲	۹ ۱۶	۰/۷	۰/۰۲۸
۲۳ تا ۴۰	۱۰ تا ۱۶	۰/۹	۰/۰۳۴
بزرگتر	بزرگتر	۱/۵	۰/۰۶۴

۱۰) کلاهک تعدیل: وسیله‌ای که روی لوله رابط دودکش در محلی بلافاصله پس از دستگاه گازسوز قرار داده می‌شود و جزئی از این لوله به شمار می‌آید. این وسیله ممکن است درون خود دستگاه نیز تعبیه شده باشد. از آن به منظورهای زیر استفاده می‌شود:

- ✓ در صورت نبود مکش، مسدود بودن دودکش یا پس زدن دود، خروج دود از دهانه باز آن امکان‌پذیر می‌شود.
- ✓ در صورت مکش اضافی دودکش، مقداری هوای اضافی به داخل دودکش وارد می‌کند و ضمن رقیق کردن آن جریان دود را در داخل دودکش متعادل می‌سازد.
- ✓ مانع ورود پس جریان به دستگاه گازسوز می‌گردد.
- ✓ اثر تغییرات ایجاد شده در جریان دودکش را بر کار دستگاه گازسوز خنثی می‌نماید.

انواع دودکش‌ها

دودکش‌ها بر سه نوع می‌باشند:

الف) دودکش ساخته شده در کارخانه: دودکشی که در کارخانه مطابق با شرایط استاندارد و مخصوص وسیله گازسوز ساخته شده باشد.

ب)دودکش با مصالح ساختمانی: دودکشی که از مصالح ساختمانی مانند آجر، سنگ یا بتن ساخته شده باشد از این دودکش‌ها معمولا برای ساختمان‌های کوچک استفاده می‌کنند.

پ)دودکش فولادی: دودکشی که از ورق فولادی گالوانیزه یا از ورق فولادی سیاه با ضخامت مناسب در کارگاه و یا در محل ساختمان ساخته می‌شود. در ظرفیت‌های بالای دیگ از این نوع دودکش‌ها استفاده می‌کنند.

محاسبه و انتخاب دودکش

در دودکش‌ها دو مشکل اساسی که در اثر عدم انتخاب و اجرای صحیح دودکش پیش می‌آیند عبارتند از:

- مکش بیش از حد
- مکش ناکافی

مشکل اول (مکش بیش از حد) بسیار متداول‌تر است و سبب افزایش مصرف انرژی و به هم خوردن پارامترهای احتراق در زمان روشن بودن مشعل می‌شود و مشکل دوم(مکش ناکافی) باعث می‌شود که فشار داخل محفظه احتراق بیشتر شده و گازهای حاصل از احتراق به خوبی خارج نشوند اگرچه در این حالت اتلاف حرارت ناشی از خروج محصولات داغ احتراق پایین می‌آید ولی در کل توان حرارتی مشعل‌ها پایین آمده و آلاینده‌های NOX، CO2 و SO2 افزایش می‌یابند لذا سطح مقطع دودکش از نظر کارکرد صحیح، کارایی قابل قبول دیگ و مشعل و همچنین بازده سیستم احتراقی اهمیت زیادی دارد. مکش ایجاد شده توسط دودکش به پارامترهای زیادی بستگی دارد از جمله سطح مقطع دودکش، تعداد زانوهای بکار رفته در مسیر خروج دود، ارتفاع دودکش، زبری سطح داخلی، وجود تنظیم‌کننده مکش دودکش و اختلاف دمای گازهای خروجی به هوای بیرون و حجم گازهای حاصل از احتراق. از بین این پارامترها سطح مقطع دودکش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است زیرا اگر سطح مقطع دودکش زیادتر از حد نیاز باشد سرعت گازهای خروجی در داخل دودکش کاهش یافته و دمای گازهای خروجی در داخل دودکش کاهش می‌یابد (زیرا افزایش سطح دودکش از یک طرف باعث افزایش انتقال حرارت سطح

دودکش با هوای بیرون شده و از طرف دیگر چون سرعت گازهای خروجی در داخل آن کاهش می‌یابد فرصت بیشتری برای تبادل حرارت دارند) و در نتیجه نیروی شناوری که موجب حرکت گازها در داخل دودکش می‌شود کاهش پیدا می‌کند و اگر سطح مقطع دودکش کم‌تر از حد لازم باشد، به دلیل کم شدن مکش گازهای حاصل از احتراق به خوبی تخلیه نمی‌شوند و در نتیجه عمل احتراق به صورت ناقص انجام می‌گردد و مشعل دود خواهد کرد لذا باید در محاسبه و انتخاب دودکش دقت کافی به عمل بیاید. برای محاسبه مساحت سطح مقطع دودکش می‌توان از روابط (۷-۶)، (۷-۷) و (۷-۸) استفاده کنیم.

$$S=\frac{Q_B+1000}{\sqrt{H}\left(25+2\sqrt[8]{Q_B}\right)} \qquad (۷-۶)$$

که در این رابطه:

Q_B: ظرفیت حرارتی دیگ بر حسب kcal/hr

H: ارتفاع دودکش بر حسب متر

S: سطح مقطع دودکش بر حسب متر

برای ظرفیت‌های حرارتی پایین دیگ و برای سوخت مایع از رابطه (۷-۷) استفاده می‌کنیم.

$$S=0.02\frac{Q_B}{\sqrt{H}} \qquad (۷-۷)$$

و برای سوخت‌های جامد چون حجم گازهای حاصل از احتراق در مقایسه با سوخت‌های مایع بیشتر است برای محاسبه سطح مقطع دودکش از رابطه (۷-۸) استفاده می‌کنیم.

$$S=0.04\frac{Q_B}{\sqrt{H}} \qquad (۷-۸)$$

درصورتیکه دودکش دارای طول افقی باشد، برای محاسبه H باید نصف طول افقی آن را با طول قائم جمع کنیم.

سطح مقطع دودکش در هیچ حالتی نباید از ۴۵ سانتی‌متر مربع کمتر باشد یعنی اگر با استفاده از روابط بالا سطح مقطع دودکش کوچکتر از ۴۵ سانتی‌متر مربع بدست آمد سطح مقطع آن را ۴۵ سانتی‌متر مربع درنظر می‌گیریم.

تمرین:

در یک ساختمان شش طبقه در صورتیکه ظرفیت حرارتی دیگ آن ۳۰۰۰۰۰ Kcal/h و در فاصله دو متری دودکش مخزنی به ارتفاع ۱۴۰ سانتی‌متر موجود باشد. قطر دودکش دیگ حرارت مرکزی را تعیین کنید در صورتیکه از یک دیگ استفاده شود.

حل:

برای محاسبه قطر دودکش ابتدا باید ارتفاع آن را بدست می‌آوریم و سپس با استفاده از رابطه (۷-۶) قطر آن را محاسبه کنیم.

با توجه به اینکه دهانه خروجی دودکش باید از بلندترین قسمت ساختمان در شعاع ۳ متری از دودکش، دست کم ۶۰ سانتی‌متر بالاتر باشد و با فرض اینکه هر طبقه ساختمان سه متر ارتفاع داشته

باشد ارتفاع دودکش بصورت زیر بدست می‌آید:

$$H = (۶ \times ۳) + ۱/۴ + ۰/۶ = ۲۰m$$

با استفاده از رابطه (۷-۶):

$$S = \frac{Q_B + ۱۰۰۰}{\sqrt{H}\left(۲۵ + ۲\sqrt[۸]{Q_B}\right)} = \frac{۳۰۰۰۰۰ + ۱۰۰۰}{\sqrt{۲۰}\left(۲۵ + ۲\sqrt[۸]{۳۰۰۰۰۰}\right)} = ۱۹۴۱cm^۲$$

$$\Rightarrow S = ۱۹۴۱ = \frac{\pi . d^۲}{۴} \Rightarrow \quad d = ۴۹/۷cm$$

نکات اجرایی

طراحی و اجرای غلط دودکش باعث گرفتگی، فرسودگی، جریان معکوس در دودکش و ورود مستقیم یا نشت آلاینده‌های حاصل از احتراق به داخل محیط زندگی می‌شود. لذا برای جلوگیری از این مشکلات باید دودکش به درستی طراحی و اجرا شود. در زیر به برخی از نکات مهم که در اجرای دودکش باید به آنها توجه شود آورده شده‌اند.

۱- انتهای دودکش در محل نصب کلاهک باران‌گیر باید حداقل یک متر از کف بام و ۶۰ سانتی‌متر از هر مانع در فاصله سه متری اطراف دودکش بالاتر باشد. ارتفاعات نشان داده شده در شکل‌های (۷-۵۸الف، ب) بدون درنظر گرفتن ارتفاع کلاهک دودکش می‌باشد.

۲- اگر دودکش به هر دلیل از دیوار نمای ساختمان خارج شود باید با رعایت فاصله ایمنی و نصب بست‌های فولادی مناسب، انتهای دودکش حداقل تا ۶۰ سانتیمتر بالاتر از جان‌پناه بام بالا برده شود.

۳- فاصله ایمنی دودکش از مصالح نسوختنی ۱۰ سانتی‌متر و از مصالح سوختنی ۱۵ سانتی‌متر است.

۴- فاصله‌های انتهای دودکش نشان داده شده در شکل‌های (۷-۵۸الف، ب) حداقل‌های ایمنی را نشان می‌دهد و در صورت لزوم با توجه به جهت باد و ساختمان‌های مجاور این فاصله‌ها ممکن است افزایش داده شوند.

۵- سطح مقطع دودکش در ساختمان نباید کوچکتر از سطح مقطع دودکش دیگ باشد.

۶- دودکش با مکش طبیعی تا حد امکان باید در مسیر قائم امتداد یابد و اگر در مسیر قائم دو خم لازم شود، شیب قسمت بین دو خم نباید با خط قائم زاویه بیشتر از ۴۵ درجه داشته باشد.

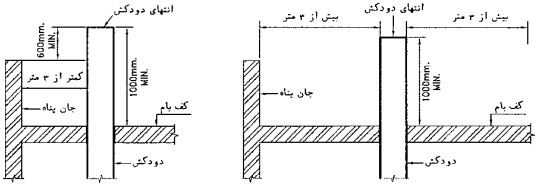
۷- فاصله دیگ تا دودکش قائم باید حتی الامکان کمترین مسیر باشد.

۸- به خاطر سر و صدا ترجیحاً نباید دودکش را از مناطق مسکونی عبور دهیم (آشپزخانه، هال و . .) و حتی‌الامکان باید آن را از راهروها و . . . عبور دهیم.

۹- حق نداریم دودکش را از اتاق خواب عبور دهیم مگر اینکه از شافت استفاده شود.

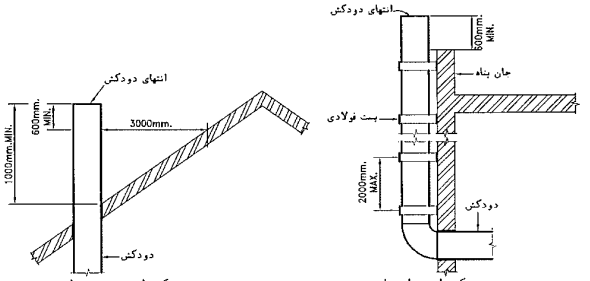
۱۰- قطعات باید با پیچ خودکار در داخل هم روند.

در شکل‌های (۷-۵۸الف، ب) چند نمونه اجرای دودکش آمده است.



فاصله دودکش از جان پناه کمتر از ۳ متر — در شعاع سه‌متری اطراف دودکش هیچ مانعی وجودندارد

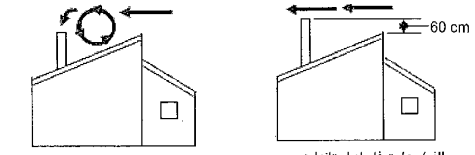
شکل۷-۵۸الف: اجرای دودکش در صورت وجود و عدم وجود مانع در شعاع سه متری دودکش



عبور دودکش از سقف شیب‌دار — عبور دودکش از دیوار نما

شکل۷-۵۸ب: اجرای دودکش هنگام عبور از سقف شیبدار و دیوار نما

در شکل (۷-۵۹) الگوی جریان باد در اطراف دودکش در صورت رعایت و عدم رعایت فاصله استاندارد آمده است. همانطور که دیده می‌شود اگر ارتفاع دودکش از مانعی که در شعاع کمتر از سه متری آن قرار دارد حداقل ۶۰ سانتی‌متر بالاتر نباشد و یا محل دودکش در پشت بام در مجاورت جان‌پناه، دیوارها و ... باشد با وزش باد، در پشت مانع که دودکش در آنجا قرار دارد جریان چرخشی یا برگشتی اتفاق می‌افتد و در نتیجه جریان باد به داخل دودکش نفوذ می‌کند.

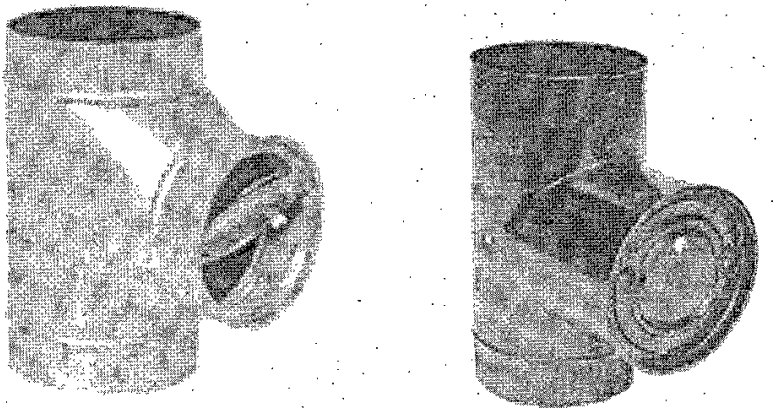


ب) عدم رعایت فاصله استاندارد — الف) رعایت فاصله استاندارد

شکل۷-۵۹: الگوی جریان باد در اطراف دودکش

تنظیم‌کننده مکش[1]

تنظیم‌کننده مکش وسیله‌ای است که در دستگاه، لوله رابط یا کلاهک تعادل دودکش نصب می‌شود و با وارد کردن مقداری هوا به داخل آن، مکش دودکش را به طور خودکار و به میزان معینی ثابت نگه می‌دارد و جریان آشفته داخل دودکش را به جریان آرام تبدیل می‌کند در نتیجه سر و صدا را کاهش می‌دهد علاوه بر این هنگامی که در داخل دیگ پرجینگ (انفجار در اثر نسبت سوخت به هوای نامناسب) اتفاق می‌افتد تنظیم‌کننده مکش اجازه خروج دود به سرعت از دودکش را نمی‌دهد و برای جلوگیری از آسیب دیدن دودکش، مقداری از دود حاصله را وارد محیط می‌کند. این وسیله معمولاً در سیستم‌هایی که سرعت دود و حجم دود خروجی زیاد می‌باشد نصب می‌شود و باید در فاصله افقی نصب شود و رویش به سمت دیوار باشد. در شکل (۷-۶۰) یک وسیله تنظیم‌کننده مکش دودکش نشان داده شده است.



شکل ۷-۶۰: تنظیم‌کننده مکش دودکش

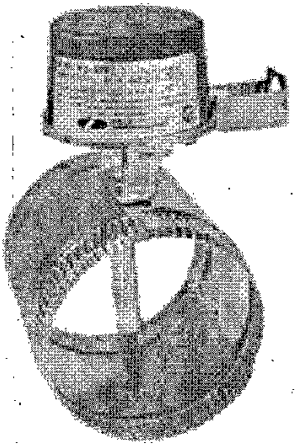
دمپر خودکار[2]

با توجه به کاهش منابع سوخت‌های فسیلی و افزایش بهای آن جلوگیری از اتلاف انرژی امری ضروری است. یکی از مهمترین راه‌های اتلاف انرژی و در نتیجه افزایش مصرف سوخت در تاسیسات حرارتی ساختمان‌ها، خروج مقدار زیاد محصولات احتراق با دمای بالا از دودکش است. وقتی که دمای آب داخل دیگ به مقدار مورد نیاز رسید ترموستات، مشعل را غیر فعال می‌کند و به دلیل منفی بودن فشار داخلی محفظه احتراق دیگ (بخاطر مکش دودکش) هوای سرد موتورخانه وارد دیگ شده و کل محصولات داغ حاصل از احتراق را از داخل دیگ خارج می‌کند در نتیجه جدار داخلی دیگ به سرعت سرد می‌شود این امر علاوه بر ایجاد تنش حرارتی در دیگ موجب کاهش دمای آب گرم چرخشی داخل دیگ می‌شود برای جلوگیری از این مشکلات از وسیله‌ای به نام دمپر خودکار استفاده می‌کنند. مکانیزم کار این وسیله بدین صورت است که با خاموش شدن مشعل، دریچه‌ای الکترومکانیکی (از مشعل سیگنال می‌گیرد) که در مقطع دودکش قرار دارد بسته می‌شود و از خروج گازهای داغ حاصل از احتراق داخل دیگ جلوگیری می‌کند لذا در این حالت محصولات داغ احتراق تا دوباره روشن شدن مشعل در داخل

1- Draft Regulator
2- Vent Damper

دیگ باقی می‌مانند و از انرژی حرارتی آنها استفاده می‌شود لذا موجب صرفه جویی در مصرف سوخت می‌گردد. به محض روشن شدن دوباره مشعل، این دریچه دوباره مسیر دودکش را باز می‌کند. این وسیله روی هواکش و درست بعد از کلاهک اضافه می‌شود تا بستن دودکش امکان‌پذیر باشد. همچنین می‌بایست در یک مکان قابل دسترس و روئیت نصب گردد.

نکته: نصب دمپرها نباید باعث تغییر ساختار و وضعیت دودکش شوند.



شکل۷-۶۱:دمپر خودکار

فصل ۸
تصفیه آب بویلر

تعاریف کلی در تصیفه آب

خواص شیمیایی آب

به ویژگی‌هایی از آب که در اثر نوع و میزان مواد حل شده در آن تغییر می‌کند خواص شیمیایی آب می‌گویند. از جملهٔ این خواص می‌توان به اسیدیته، قلیاییت، حلالیت، سختی، هدایت الکتریکی و... اشاره کرد.

هدایت الکتریکی

هدایت الکتریکی آب نشان دهنده میزان املاح موجود در آب می‌باشد. واحد هدایت الکتریکی که آن را با EC نیز نمایش می‌دهند ohm^{-1} یا mho می‌باشد و واحد هدایت الکتریکی ویژه آب μ mho/cm (میکرو موس بر سانتی‌متر) که در سیستم SI با μSiemens/cm (میکرو زیمنس بر سانتی‌متر) نمایش داده می‌شود. معمولاً وقتی از واژه "هدایت الکتریکی آب" استفاده می‌شود منظور همان "هدایت الکتریکی ویژه آب" می‌باشد. با توجه به این که هدایت الکتریکی رابطه مستقیمی با TDS و نمک‌های محلول در آب دارد، لذا اندازه‌گیری آن به منظور کنترل کیفیت آب از اهمیت زیادی برخوردار است.

تاثیر یونهای هیدروکسید در هدایت الکتریکی آب

وجود یونهای هیدروکسید در نمونه‌های قلیایی، باعث ایجاد خطا شده، قابلیت هدایت را بطور غیر منتظره بالا می‌برد. از اینرو، وقتی هدف، تعیین کل مواد محلول در آب باشد، لازم است که نمونه، قبل از اندازه‌گیری هدایت الکتریکی، خنثی شده باشد. برای این منظور، از اسید گالیک استفاده می‌شود. اسید گالیک به میزان بسیار کم تفکیک می‌شود، از اینرو در هدایت الکتریکی تاثیر کمی دارد. افزودن اسید گالیک در اندازه‌گیری آبهای صنعتی بویژه آب بویلرها انجام می‌شود و برای آبهای سطحی و آب چاه که قلیائیت کمی دارند، نیازی به افزودن اسید نمی‌باشد.

تاثیر گازهای محلول در هدایت الکتریکی آب

در صنعت آب، گاهی با آبهای بسیار خالص روبرو هستیم که در آنها نیازی به خنثی سازی آب نیست،

اما در این آبها علاوه بر وجود یونهای مربوط به نمکهای محلول، گازهای محلول در آب نیز در مقدار قابلیت هدایت الکتریکی تاثیر دارند. گازهای CO_2 و NH_3 در صنعت آب اهمیت زیادی دارند و معمولاً در آب کندانس برگشتی حاصل از بخارات بویلرها قابل اندازه‌گیری هستند و در اندازه‌گیری هدایت الکتریکی این آبها باید ضریب تصحیحی برای این گازها در نظر گرفت.

عوامل دیگر

هدایت الکتریکی خود تابعی از دما است و اگر دمای نمونه‌های مورد آزمایش در محدوده ۲۰ یا ۲۵ درجه سانتی‌گراد نباشد، تصحیح‌های لازم در مقدار اندازه‌گیری شده، با توجه به ضریب دمای مربوطه انجام می‌گیرد. البته این روش در اندازه‌گیری مقدار جامدات غیر الکترولیت مانند اکثر مواد آلی کارایی لازم را ندارد.

کل جامدات محلول در آب(TDS)

منظور ازTDS کل مواد جامد محلول در آب است که برابر مجموع غلظت همه یونهای موجود در آب می‌باشد. مواد محلول در آب ممکن است از نظر ماهیت « آلی » یا « معدنی » باشند.

مواد غیر آلی (معدنی)حل شده در آب شامل مواد معدنی، فلزات و گازها می‌باشند. بعضی از مواد آلی به صورت ذرات کلوییدی هستند اما بیشتر مواد آلی به صورت محلول هستند. آلاینده‌های آلی ممکن است باعث بو، رنگ و طعم نامطبوع آب شوند. مواد حاصل از تجزیه گیاهان، مواد شیمیایی آلی و گازهای آلی، اجزای آلی محلول در آب را تشکیل می‌دهند. بسیاری از مواد حل شده در آب نامطلوب هستند. مواد معدنی، گازها و مواد آلی حل شده در آب ممکن است موجب بروز رنگ، طعم و بوی نامطلوب شوند. برخی از ترکیبات شیمیایی ممکن است سمی باشند و برخی از اجزای آلی محلول به اثبات رسیده است که سرطانزا هستند. البته باید توجه داشت که تمامی مواد محلول در آب نامطلوب نیستند. اما میزان مواد محلول مطلوب در آب بسیار اندک است.

واحد سنجش TDS، میلی‌گرم در لیتر Mg/l می‌باشد که از آن با اصطلاح PPM یاد می‌کنند.

اسیدیته

اسیدیته آب عبارت از میزان یون هیدروژن اضافی است که در مقابل یون هیدروکسید موجود در آب وجود دارد. در طبیعت بیشترین عامل اسیدی شدن آبهای شیرین که بوسیله فضولات صنعتی آلوده شده‌اند وجود دی اکسید کربن آزاد به شکل اسید کربنیک می‌باشد. اسیدیته آب را میتوان به کمک یک سود قوی مانند سود سوز آور و در مجاورت معرفهای متیل اورنژ و فنل فتالئین اندازه‌گیری نمود. اگر آب مورد آزمایش محتوی اسیدهای قوی معدنی ونمکهای آنها باشد، میتوان آن را در PH= 3.7 و با کمک معرف متیل اورنژ اندازه‌گیری نمود، که نتیجه آنرا اسیدیته قلیائیت گویند، ولی اگر آب مورد آزمایش را با کمک فنل فتالئین و در PH= 8.3 اندازه‌گیری نمائید نتیجه بدست آمده را اسیدیته کل می‌نامند.

قلیائیت

اگر به زبان ساده بیان شود، حضور املاح بازی قلیایی مثل کربنات و بی کربنات سدیم، پتاسیم و همچنین سود و پتاس قلیائیت آب را بوجود می‌آورند و به عبارتی برای تعیین قلیائیت یک نمونه آب یا محلولی باید به اندازه کافی اسید اضافه کرد تا با کلر ترکیبات قلیایی ترکیب شود. برای نشان دادن پایان

واکنش اسید و ترکیبات قلیایی از اندیکاتورهای رنگی مثل متیل اورانژ (m) و فنل فتالئین (p) استفاده می‌شود که پایان واکنش را با تغییر رنگ نشان می‌دهد. مقدار اسید مصرف شده جهت رسیدن به نقطه پایانی واکنش (تغییر رنگ) را قلیائیت فنل فتالئین یا متیل اورانژ گویند. به طور کلی قلیائیت آب معیاری از ظرفیت آن در خنثی سازی اسیدها می‌باشد (Acid Capacity) و عموماً قلیائیت آبهای طبیعی به علت وجود نمک اسیدهای ضعیف است. گرچه بازهای ضعیف یا قوی نیز ممکن است باعث ایجاد قلیائیت در این آبها گردند. اساساً در آب‌های طبیعی سه نوع آنیون، قلیائیت آب را به‌وجود می‌آورند که عبارتند از کربنات (CO_3^{2-})، بیکربنات (HCO_3^-) و هیدروکسید (OH^-) و برای بیشتر کارهای عملی قلیائیت به علت عوامل دیگر را می‌توان نادیده گرفت. دیگر نمکهای اسید ضعیف مثل براتها، سیلیکاتها و فسفاتها نیز ممکن است به مقدار کم در آبها یافت شوند.

همچنین تعداد محدودی اسیدهای آلی مقاوم در مقابل تجزیه بیولوژیک نیز تشکیل نمکهایی می‌دهد که به قلیائیت آب اضافه می‌شوند. در آبهای آلوده و یا آبهای با حالت بی هوازی نیز اسیدهای ضعیفی مثل اسید استیک، اسید پروپیونیک و غیره تشکیل می‌شوند که در قلیائیت شرکت می‌کنند. در بعضی حالات هم آمونیاک و هیدروکسیدها نیز ممکن است سهمی از قلیائیت آب را شامل گردند. در آبهایی که جلبکها رشد و فعالیت زیاد داشته باشند، نیز ممکن است قلیائیت کربنات هیدروکسید به مقدار قابل ملاحظه‌ای وجود داشته باشد زیرا جلبکها CO_2 آزاد و یا ترکیبی موجود در آب را به مصرف می‌رسانند و حتی PH آب را به ۹ تا ۱۰ هم بالا می‌برند. ضمناً قلیائیت در آبهای آشامیدنی از نظر بهداشت عمومی اهمیت چندانی ندارد هر چند که آبهای بسیار قلیایی ممکن است دلپذیر نباشد. قلیائیت در تصفیه و تهیه آب و فاضلاب اهمیت خاصی دارد بویژه قلیائیت در آب صنعتی نقش عمده‌ای دارد و شناخت اثرات آن بسیار اهمیت دارد.

آب تغذیه[1]

آب تغذیه(FEED WATER) به مجموع آب جبرانی (MAKEUP WATER) و آب برگشتی از کندانس بخار بویلر(CONDENSATE RETURN) گفته می‌شود.

آب جبرانی نیز از مجموع اتلاف ناشی از زیر آب زنی (BLOWDOWN) و اتلاف کندانس (CONDENSATE LOSS) است.

Feed Water = Makeup Water + Condensate Return

Makeup Water = Blow Down + Condensate Loss

❖ در بعضی از موارد ممکن است کندانس برگشتی صفر باشد. در چنین شرایطی آب تغذیه برابر با آب جبرانی خواهد بود.

بدون شک مهمترین عامل در تولید بخار آب است. منابع آب تغذیه بویلر می‌تواند شامل:

۱- آب‌های زیر زمینی مانند چاه و یا چشمه باشد

۲- آب‌های سطحی مانند رود خانه‌ها و یا تالاب‌ها باشد

۱- در دنیای امروز روش‌های بسیار متنوعی در تصفیه آب وجود دارد از آنجاییکه انتخاب روش تصفیه آب دیگ‌خانه بر اساس امکانات قابل دسترس و هزینه سیستم و میزان مصرف انرژی صورت می‌گیرد در این مقال برای جلوگیری از تشویش ذهن خوانندگان صرفاً به توضیح روش‌های پر کاربرد در تصفیه آب در دیگ‌های بخار صنعتی کشورمان پرداخته شده است.

۳- آب شهرها و یا شهرک‌های صنعتی باشد

کیفیت آب تغذیه تاثیر مستقیم بر روی عملکرد بویلر دارد از این رو می‌بایست آب تغذیه دارای کیفیت بالا و دمای مناسبی باشد.

مشکلات ناشی از آب تغذیه در بویلر شامل ۲ بخش است:

۱- مشکلات رسوبی (DEPOSIT-RELATED PROBLEM)

۲- مشکلات خوردگی(CORROSION-RELATED PROBLEM)

مشکلات رسوبی

مشکلات رسوبی ناشی از حضور کلسیم، منیزیم، و سیلیکا در آب بویلر است که با ایجاد رسوب بر روی سطح حرارتی می‌تواند۱۰-۱۲٪ راندمان بویلر را کاهش دهد.

مشکلات خوردگی

خوردگی عملی است شیمیایی یا الکتروشیمیایی که بین فلزات و محیط اطرافشان واقع گشته و موجب فساد و دگرگونی در خواص آنها می‌شود.عوامل بسیاری در بروز خوردگی در فلزات نقش دارند که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

درجه حرارت: افزایش درجه حرارت موجب ازدیاد میزان و سرعت خوردگی می‌شود. حتی زمانیکه درجه حرارت قسمت‌های مختلف از قطعه معینی متفاوت باشد.عموما آن قسمت که درجه حرارتش بیشتر باشد نسبت به سایر نقاط آندتر می‌شود .

اختلاف پتانسیل: درحالیکه فلزات غیر همجنس و متصل به هم در محیط مشترکی قرار گرفته باشند به علت اختلاف پتانسیل موجود بین الکترودها فلزی که در جدول سری گالوانیکی بالاتر است، آند بوده و خورده خواهد شد. و در نتیجه این عمل فلز دیگر را محافظت خواهد نمود.

عملیات حرارتی: در نتیجه اعمال عملیات حرارتی رفتار خوردگی اغلب فلزات و آلیاژها شدیداً متاثر خواهد شد.

شرایط سطحی: شروع و سرعت خوردگی در مورد سطوح صیقلی و تمیز فلزات نسبت به سطوح زبر و خشن و یا سطوحی که دارای فیلم‌های سطحی بوده و یا دیگر موارد خارجی در آن حضور داشته باشند به شدت تغییر می‌کند.

سرعت: چون فیلم‌های اولیه خوردگی به دلیل وجود سائیدگی از بین می‌رود و سطح فلز لخت و فعال مجدداً در معرض خوردگی‌های بعدی قرار می‌گیرد از این رو مورد بررسی و توجه می‌باشد.

تشعشع: در این زمینه تحقیقات کمتری صورت گرفته است اما آزمایشاتی که انجام گرفته روشن نموده که در محیط‌های حاوی تشعشعات اتمی بر روی فلزات میزان و شدت خوردگی تا حدودی افزایش می‌یابد.

ناخالصی‌های محیطی: وجود ناخالصی‌های مختلف در محیط عامل بسیار مهمی بوده و اثرات گوناگونی بر روی خوردگی می‌گذارند.

زمان: معمولاً پیشرفت خوردگی با زمان افزایش می‌یابد اما شرایطی وجود دارند که میزان خوردگی نسبت به زمان کاهش می‌یابد .

تنش: مواد و قطعات در شرایطی که تحت تنش‌های کششی در معرض محیط‌های خورنده قرار می‌گیرند شدیدتر و سریعتر از بین می‌روند.

فشار: بررسی‌ها و مطالعات نشان داده که فشار عامل موثری روی واکنش‌های شیمیایی و اکسیداسیون مواد می‌باشد.

خواص فلزی: توجه به خواص و مشخصات متالوژی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. ساختمان بلوری، مرزدانه‌ها، خواص مکانیکی اختصاصی فلزات و آلیاژها روش‌های ریخته گری، عملیات حرارتی و ترکیب آلیاژها از عوامل مهم و موثری هستند که مد نظر قرار می‌گیرند.

اما اصلی‌ترین عوامل در بروز خوردگی در بویلر وجود اکسیژن و گازهای محلول در آب تغذیه بویلر مانند دی‌اکسیدکربن و همچنین پایین آمدنPH آب تغذیه بویلر است.

تصفیه آب تغذیه دیگ‌بخار

تصفیه آب در دیگ‌های بخار شامل ۲ بخش اصلی است:

۱- تصفیه خارجی[1]

۲- تصفیه داخلی[2]

تصفیه خارجی

تصفیه خارجی آب تغذیه خود شامل سه بخش است:

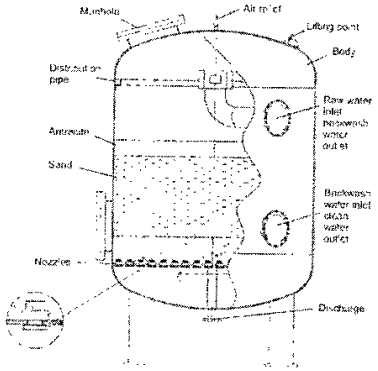
۱- مواد معلق و جامد

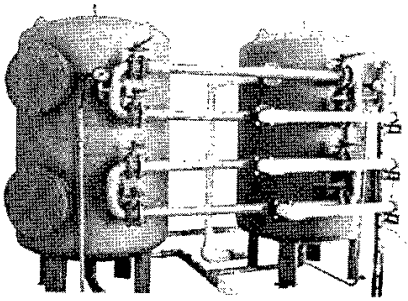
۲- سختی و دیگر ناخالصی‌های محلول

۳- اکسیژن و دی‌اکسیدکربن و سایر گازهای غیر قابل کندانس

مواد معلق

آب تغذیه بویلر به هیچ عنوان نمی‌بایست حاوی مواد معلق جامد باشد. زیرا این مواد موجب ایجاد اخلال در سیستم خواهد شد. از اینرو چنانچه آب مورد استفاده دارای مواد معلق است می‌بایست توسط فرآیند فیزیکی این ذرات را از آب جدا نمود. نام این فرآیند فیزیکی فیلتراسیون است. بدین منظور استفاده از فیلترهای شنی تحت فشار بهترین گزینه است. درون فیلترهای شنی چند لایه سیلیس با دانه بندی‌های مختلف وجود دارد که می‌توانند حداقل قطر ذرات بین ۳۰-۶۰ میکرون را مورد فیلتراسیون قرار دهند که این میزان برای آب تغذیه بویلر مناسب است.





شکل ۸-۱: واقعی و برش خورده فیلتر شنی

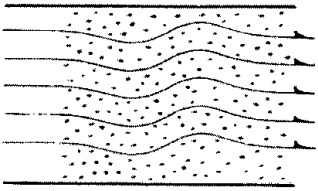
1- External Treatment
2- Internal Treatment

فیلترهای شنی به دو صورت راندمان بالا و راندمان پایین ساخته می‌شوند که باید به این نکته توجه نمود که عبارت راندمان بالا به این معنی نیست که فیلتر شنی توانایی فیلتراسیون ذرات ریزتری را دارد بلکه مفهوم آن این است که همان فرآیند فیزیکی را با سطح بستر کمتری انجام می‌دهد.

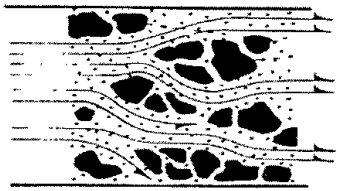
ظرفیت فیلترهای شنی بر حسب سطح بستر فیلتر و دبی عبوری از آن محاسبه می‌شود. که این مقدار برای فیلترهای راندمان پایین ۳-۵ گالن در دقیقه با ازاء هر فوت مربع از سطح بستر فیلتر است. این رقم برای فیلتر شنی راندمان بالا می‌تواند تا ۱۵ گالن در دقیقه به ازاء هر فوت مربع از سطح بستر فیلتر ارتقاء پیدا کند. بنابراین برای محاسبه قطر فیلتر شنی می‌بایست حداکثر دبی عبوری از فیلتر را بر دبی عبوری بر واحد سطح تقسیم نمود. ظرفیت فیلترهای شنی‌های تحت فشار تولیدی در کشورمان عموماً بین۵/۵تا۷/۵گالن در دقیقه با ازاء هر فوت مربع از سطح بستر فیلتر است.

بنابراین ارتفاع فیلتر شنی به جریان عبوری از آن مرتبط نیست و صرفاً با افزایش ارتفاع زمان سرویس فیلتر طولانی‌تر شده و دیرتر احتیاج به بک واش پیدا می‌کند.البته ماکزیم ارتفاع محاسبه شده برای فیلترهای شنی ۱/۵ متر است و فیلتر شنی در ارتفاع بزرگتر کارایی بیشتری نخواهد داشت.

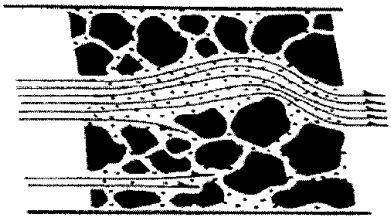
کلیه فیلترها پس از مدتی دچار گرفتگی می‌شوند و باید احیا شوند. برای مثال در شکل زیر به صورت شماتیک یک فیلتر شنی در سه حالت به تصویر کشیده شده است.



شکل ۸-۲الف: فیلترشنی تمیز



شکل ۸-۲ب: فیلترشنی کثیف



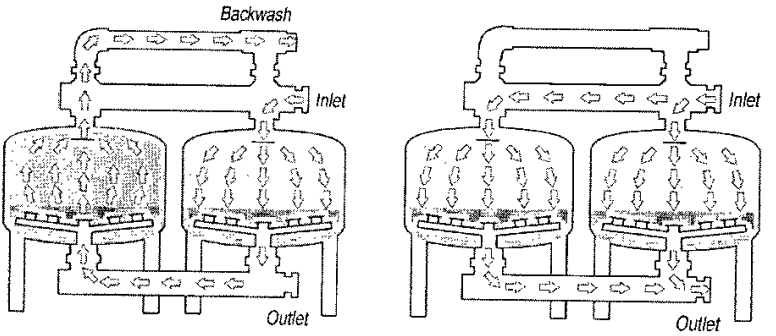
شکل ۸-۲ج: گسترش گرفتگی در فیلترشنی

در حالت نخست فیلتر شنی تمیز است و آب به صورت همگن و مساوی از میان دانه‌های شن عبور می‌کند. پس از آن بر اثر جذب ذرات منافذ فیلتر دچار گرفتگی می‌شود و زمان احیای فیلتر فرا می‌رسد. در این زمان چنانچه بک‌واش صورت نگیرد شدت گرفتگی گسترش می‌یابد و سبب می‌شود جریان آب از گوشه‌های از فیلتر عبور کند و در عمل فیلتراسیون صورت نگیرد. برای فهمیدن زمان مناسب بک واش می‌توان با نصب گیج فشار قبل و بعد از فیلتر و با محاسبه اختلاف فشار ورود و خروج فیلتر، زمانی که اختلاف از حدی فزونی یافت(توسط سازنده ارائه می‌شود) عملیات بکواش را انجام داد. فیلترهای شنی

می‌تواند با شیر دستی و یا نیمه اتوماتیک و یا تمام اتوماتیک ساخته شود. در نوع تمام اتوماتیک فیلتر به کمک یک سوئیچ اختلاف فشار با افزایش اختلاف فشار ورودی و خروجی از فیلتر به صورت اتوماتیک فیلتر را تحت بک‌واش قرار می‌دهد.

بک‌واش[1] (پس شویی)

بک‌واش در فیلترهای شنی با بر عکس کردن جریان در فیلتر صورت می‌گیرد. با بر عکس شدن جریان آب از آنجاییکه در بالای فیلتر فضای خالی از سیلیس وجود دارد این امکان وجود دارد تا با وارونه کردن جهت جریان مواد زائد گیر افتاده بین شن‌ها را تخلیه نماییم. معمولاً بک‌واش فیلترهای شنی در زمانی نزدیک به ۵-۱۰ دقیقه صورت می‌گیرد. در فیلترهای دوبل از آب فیلتر شده فیلتر تمیز برای بک‌واش فیلتر کثیف استفاده می‌شود.



شکل ۸-۳: شماتیک عملکرد فیلتر شنی در سرویس و بک واش

عمر شن‌های داخل فیلتر حد اکثر ۱۰ سال است. البته اصولاً بعد از ۵ سال شن‌ها کیفیت خود را از دست داده و طول سرویس آنها کوتاه‌تر شده و به بکواش بیشتری احتیاج دارند. از آنجاییکه بکواش فیلتر به آب فراوانی احتاج دارد و شن سیلیس نیز قیمت بالایی ندارد تعویض شن‌ها هر ۵ سال می‌تواند به بالا نگه داشتن راندمان فیلتر و صرفه‌جویی در مصرف آب کمک شایانی نماید.

سختی و دیگر ناخالصی‌های محلول

آب سخت آبی است که حاوی نمک‌های معدنی نا محلول از قبیل ترکیبات کلسیم و منیزیم و ... باشد. درجه سختی آب نیز از روی همین مقدار کلسیم و منیزیم موجود در آن محاسبه می‌شود. اساساً بزرگ‌ترین مشکل در آب بویلر نیز همین کلسیم و منیزیم است. این سختی در واحدهای مختلفی بیان می‌شود که معروف‌ترین آنها عبارت‌اند از:

قسمت در میلیون[2]

به صورت یک میلی‌گرم کربنات کلسیم در یک لیتر آب تعریف می‌شود.

1- Backwash
2- PPM(parts per million)

دانه در گالن

به صورت یک دانه(۶۴/۸ میلی‌گرم کربنات کلسیم) در هر گالن تعریف می‌شود.

میلی مول در لیتر

یک میلی‌مول کلسیم در هر لیتر آب مشابه۱۰۰/۰۹ قسمت در میلیون است.

که البته واحد قسمت در میلیون در کشورمان بیشترین کاربرد را دارد.

منیزیم: فلزی است ضعیف و کاتیون (یون منفی در آن وجود ندارد) و به رنگ سفید تا نقره‌ای که در جدول عناصر با نماد (mg) نشان داده می‌شود. عدد اتمی آن ۱۲ و ساختار آن شش گوش متراکم است. منیزیم هشتمین عنصر فراوان در دنیا و سومین عنصر قابل حل در آب دریا است.

کلسیم: کلسیم نیز یک فلز کاتیون با عدد اتمی۲۰ است. به لحاظ فراوانی کلسیم در بین کلیه عناصر مقام پنجم و در بین فلزات مقام سوم را دارد. ترکیبات کلسیم نزدیک به ۴٪ از پوسته زمین را پوشش می‌دهد. همچنین کلسیم فراوان‌ترین کانی موجود در بدن انسان است.

انواع سختی

سختی موقت: منظور از سختی موقت املاح بی‌کربنات (کلسیم منیزیم) موجود در آب است که با حرارت دیدن آب از حالت محلول به‌صورت غیر محلول در می‌آید. رسوب موجود در کتری ناشی از همین سختی بی‌کربناتی است.

سختی دائم: سختی دائم سختی است که به‌وجود نمک‌هایی غیر از بی‌کربنات فلزهای موجود در آب مربوط است و با عمل جوشاندن آب از بین نمی‌رود.

سختی کل: به مجموع سختی موقت و دائم سختی کل اطلاق می‌شود.

رسوب

سه عامل مهم در تشکیل رسوب نقش دارند عبارت‌اند از: ۱)فشار۲)دما۳)قلیایت

۱)دما: با افزایش دما حلالیت فلزات قلیایی خاکی(بارزترین آن بی کربنات کلسیم) کم شده و سبب ایجاد رسوب خواهد شد.

۲)قلیاییت: با افزایش قلیاییت و کاهش اسیدیته حلالیت آب کم شده و در نتیجه مسبب ایجاد رسوب خواهد شد.

۳)فشار: فشار آب نیز بر روی حلالیت آن موثر بوده و حلالیت آب با تغییر فشار تغییر می‌کند.

از آنجاییکه در داخل دیگ‌بخار PH حدود ۹–۱۰,۵ نگه داشته می‌شود و دما و فشار نیز بالاست در این شرایط نمک‌های معدنی کلسیم و منیزیم در دما و فشار دیگ روی سطوح فلزی رسوب می‌کنند.(هرچه سطح داغ‌تر رسوب بیشتر)

ذره‌ذره این رسوب‌ها روی هم انباشته شده تشکیل رسوب سخت را می‌دهند. این رسوب مانند یک پتو گرداگرد سطوح حرارتی را گرفته و مانع از انتقال حرارت گازهای ناشی از احتراق به آب بویلر می‌شود. بدین ترتیب مشعل باید با قدرت و زمان بیشتری کار کند تا انرژی مورد نیاز بویلر تامین شود. در این شرایط دمای اگزوز بویلر بالا رفته و انرژی تلف خواهد شد. با افزایش ضخامت رسوب حتی این امکان وجود دارد که دما از حد مجاز تحمل لوله‌ها بالاتر رفته و بویلر را به طور کامل از سرویس خارج کند.

جدول ۸-۱: میزان اتلاف انرژی با تشکیل رسوب روی سطوح حرارتی

Scale Thickness, inches	Fuel Loss, % of Total Use		
	Scale Type		
	"Normal"	High Iron	Iron Plus Silica
1/64	1.0	1.6	3.5
1/32	2.0	3.1	7.0
3/64	3.0	4.7	-
1/16	3.9	6.2	-

بنابراین می‌توان مطمئن بود که بهترین روش برای جلوگیری از مشکلات ناشی از آب سخت ، سختی‌گیری(نرم ساختن آب) است. جهت حذف کلسیم، منیزیم و سیلیس می‌توان به کمک یکی از روش‌های ستون‌های تعویض یونی(سختی‌گیر)، اسمز معکوس، الکترودیالیز و یا تقطیر عمل نمود.

تعویض یونی[1] (سختی‌گیر رزینی)

سختی‌گیر رزینی متشکل از یک مخزن استوانه ایستاده، ساخته شده از ورق فولادی و یا مواد پلی پروپیلن است که در داخل آن رزین‌های تبادل یونی قرار داده شده است. این رزین‌ها براساس جایگزینی یون‌های سخت آب با اتم‌های سدیم، آب سخت را به آب نرم تبدیل می‌کند. در سیکل کاری دستگاه آب از بالا وارد شده و پس از گذر از بستر رزین از پایین دستگاه خارج می‌شود.

برای جلوگیری از خروج رزین‌ها در کف دستگاه تعدادی نازل قرار دارد که روی آن را یک بستر سیلیسی پوشانده است. تکنیک تعویض یون در سختی‌گیرهای رزینی تکنیک بستر ثابت با جریان رو به پایین است زیرا رزین در طول عملیات تعویض یون حرکت نکرده و همانند یک بستر و یا ستون محکم می‌ماند و آب است که در طول رزین حرکت می‌کند. بالای ستون رزین بیشتر یون‌های آب را می‌گیرد و در ادامه این روند ادامه داشته تا آنجاکه در انتها تمامی یون‌ها دریافت شده‌اند. به همین دلیل است که تانک سختی‌گیرها برای جلوگیری از فرار یون‌ها به صورت ستونی ساخته می‌شوند و به همین دلیل همواره قطر کم و ارتفاع زیادی دارند.

مخازن سختی‌گیر دارای سه نوع شیر هستند:

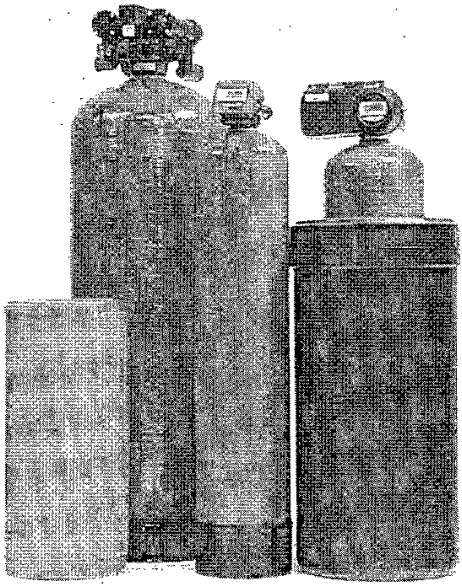
۱- دستی: شیر دستی مگر در سایزهای بزرگ دیگر استفاده نمی‌شوند. در سختی‌گیرهای مجهز به شیر دستی کلیه مراحل توسط اپراتور انجام می‌شود. بزرگ‌ترین مشکل شیرهای دستی در مکش نمک آنها است.

۲- نیمه اتوماتیک مخازن فلزی: شیرهای نیمه اتوماتیک سختی‌گیر دارای یک اهرم است که این اهرم می‌تواند بر روی یکی از سه حالت سرویس ، شستشوی معکوس و یا احیاء قرار بگیرد. تقریباً اکثر سختی‌گیرهای موجود در کشورمان نیز از همین نوع اند. از آنجاییکه در این شیرها عمل مکش نمک به کمک پدیده ونچوری صورت می‌گیرد فشار آب سیستم نباید از ۲ اتمسفر کمتر باشد. فشار کمتر سبب

1- Ion exchange Softener

می‌شود مکش به خوبی صورت نگیرد. (این نوع از شیرهای چند راهه عملاً در دنیا منسوخ شده است)

۳- شیر چند راهه مخازن FRP: مخازن پلی‌پروپیلن نیز دارای شیرهای مخصوص به خود هستند. این شیرها دارای ۵ حالت عملکرد بوده و علاوه بر از سه حالت سرویس، شستشوی معکوس و احیاء می‌توان حالت پرکن تانک نمک و سیکل شستشوی کند و سریع را نیز انتخاب کرد. در مدل دستی این شیرها یک سر فلکه وضعیت کار دستگاه را تنظیم می‌کند. و در مدل اتوماتیک خود شیر است که براساس تنظیمات از پیش تعیین شده مراحل سرویس و شستشوی معکوس و احیاء را انجام می‌دهد.



شکل ۸-۴: سختی‌گیر با مخزن پلی پروپیلن مجهز به شیر اتوماتیک

تانک نمک

در کنار سختی‌گیرهای رزینی یک تانک نمک قرار دارد که در آن مخلوطی از آب و بلورهای نمک قرار داده شده است و از این آب نمک برای احیای رزین بهره گرفته می‌شود.

رزین[1]

از ابتدای تولید ماشین بخار توسط بشر همواره مساله رسوب در بویلر جزو مشکلات اساسی دیگ‌های بخار بوده است. با پیشرفت علم و بالا رفتن فشار بویلرها و افزایش هزینه‌ها به آب خالص‌تری برای بویلر احتیاج بود. در ابتدا با تقطیر آب و تولید آب تقطیر شده آب بویلرهای بخار تامین می‌شد. که بسیار پر هزینه بود. متعاقباً شیمیدانان به این نکته پی بردند که نیاز زیادی به حذف یون‌های آب وجود دارد تا بدین ترتیب از بروز اشکال در سیستم‌های بخار جلوگیری شود. رزین‌های تعویض یونی به شکل فعلی

1- Resin-

اولین بار در دهه ۵۰ میلادی و در نیروگاه‌های بخار به کار گرفته شدند و بعد از آن به تدریج وارد چرخه تولید و توزیع در سراسر جهان شدند.

رزین‌های تعویض یونی ذرات جامدی هستند که می‌توانند یون‌های نا مطلوب در محلول را با همان مقدار اکی والان از یون مطلوب با بار الکتریکی مشابه جایگزین کنند.

Cation exchange

$+nRA + Bn+ = RnBn+ + nA$

Anion exchange

$-nRA + Bn- = RnBn- + nA$

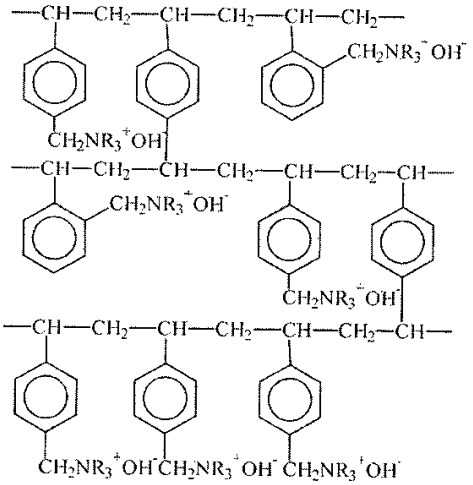
رزین‌های تعویض یونی به دو صورت کاتیونی[1] (ضعیف و قوی) و آنیونی[2] (ضعیف و قوی) در دسترس هستند.

رزین آنیونی: رزین‌های آنیونی همانطور که از نام آنها پیداست برای جذب آنیون‌ها نظیر اسید سولفوریک، کلریدریک و نیتریک استفاده می‌شود.

$$OH^- \approx F^- < HCO_3^- < Cl^- < Br^- < NO_3^- < HSO_4^- < PO_4^{3-} < CrO_4^{2-} < SO_4^{2-}$$

رزین‌های آنیونی ضعیف در دیونایزرها بعد از ستون کاتیون قوی(سیکل هیدروژن) قرار می‌گیرند. این رزین‌ها قادراند اسیدهای خیلی تفکیک شده (سولفوریک، هیدروکلریک و نیتریک)را از انشعاب مبادله گر اول بردارند. احیاء کننده‌های پرکاربرد آنیون‌های ضعیف، سود سوزآور و آمونیاک است رزین‌های آنیونی ضعیف مقاوم‌تر از رزین‌های آنیونی قوی می‌باشند و به همین دلیل در سیستم‌های تصفیه آب رزین‌های آنینونی قوی در پایین دست رزین‌های آنیونی ضعیف قرار می‌گیرند.(شکل۷-۸)

در بویلرهای نیروگاهی که حذف سیلیس بسیار مهم است، همواره از تبادل آنیونی قوی استفاده می‌شود. رزین‌های آنیونی قوی قادرند هر دو اسیدهای خیلی تفکیک شده و کم تفکیک شده را حذف نمایند. تنها احیاءکننده رزین‌های آنیونی قوی سود سوزآور است.



شکل ۸-۵: پیوند رزین آنیونی قوی

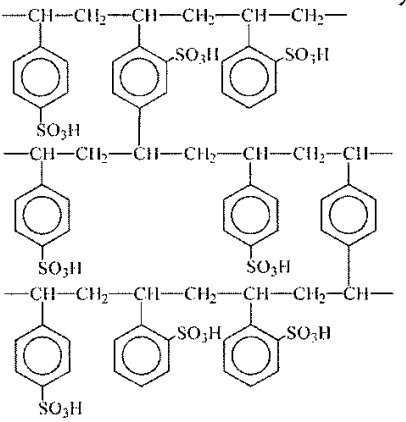
1 Cation Resin
2 Anion Resin

رزین کاتیونی ضعیف: رزین‌های کاتیونی ضعیف بازدهی بالاتری نصبت به رزین‌های کاتیونی قوی دارند و در نتیجه به احیاء کمتر و در نتیجه پساب کمتری احتیاج دارند. اما این رزین‌ها قادر به جذب تمام فلزات نبوده و در نتیجه استفاده از آنها به‌تنهایی در سختی‌گیرهای دیگ‌خانه ممکن نیست.

رزین کاتیونی قوی: رزین‌های کاتیونی قوی کلسیم و منیزیم و همچنین سایر فلزات نظیر منگنز و آهن و.. را با سدیم تعویض می‌کنند. مسیر واکنش رزین‌ها به میل ترکیبی آنها با یون‌های مختلف درون آب بستگی دارد. که به آن گزینش‌گری رزین می‌گویند. این ضریب به عوامل خارجی زیادی مانند دما و فشار بستگی دارد. اما اصولاً به ماهیت و ظرفیت یون، نوع رزین و غلظت یون‌های موجود در آب بستگی دارد. در رزین‌های با سیکل سدیم این تبادل بین کلسیم و منیزیم با سدیم صورت می‌گیرد و رزین به جای سدیم تک ظرفیتی کاتیون‌های دو ظرفیتی کلسیم و منیزیم را انتخاب می‌کند. اما سوال اینجاست که با این شرایط احیاء چگونه صورت می‌گیرد؟

احیاء رزین در سیکل سدیم با آب نمک صورت می‌گیرد[1]. این آب نمک که غلظتی معادل ۱۰٪ (۱۰۰گرم در لیتر) یا ۱۰۰,۰۰۰ پی‌پی‌ام دارد سبب می‌شود گزینش رزین به سمت سدیم افزایش پیدا کرده و بنابراین واکنش برگشت صورت گرفته و رزین احیاء می‌شود.

احیا سیکل سدیم توسط آب نمک بسیار ارزان است و از طرف دیگر چرخه کاتیون سدیم قلیاییت آب را کاهش نمی‌دهد از همین رو است که سختی‌گیری با سیکل سدیم پر کاربردترین روش تعویض یون در دیگ‌خانه‌های بخار هستند. اما باید به این نکته نیز توجه نمود که درسیکل تعویض یون سدیم با ورود بی‌کربنات سدیم در آب نرم شده و ورود آن به دیگ‌بخار در دما و فشار بالا به سود سوزآور و دی‌اکسید کربن تجزیه می‌شود که خود برای بویلر ایجاد مشکل خواهد کرد. برای رفع این مشکل می‌بایست به آب تغذیه مواد شیمیایی تزریق نمود.



شکل ۸-۶: پیوند رزین کاتیونی قوی

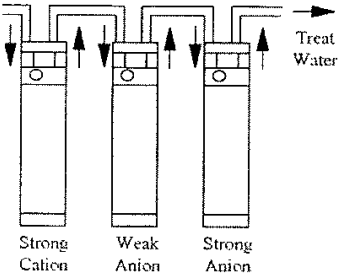
چرخه کاتیون هیدروژن(سیکل هیدروژن)

واکنش شیمیایی چرخه کاتیون هیدروژنی مشابه سیکل سدیم بوده با این تفاوت که هیدروژن به جای سدیم با کلسیم و منیزیم و سایر فلزات تعویض می‌شود. این مدل از چرخه تعویض یون در کنار نرم

[1] فیلم آموزشی شماره۸-۱ را ببینید

سازی آب قلیاییت را نیز کاهش می‌دهد. به همین دلیل است که برای سیکل سختی‌گیر در بویلرها به ندرت مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین از اسید سولفوریک و یا اسید کلریدریک برای احیاء آنها استفاده می‌شود و از آنجاییکه احیاء با نمک در چرخه سدیم به مراتب ارزان‌تر از احیاء با اسید است و کنترل همین اسید احیاء نیز بسیار مشکل است. استفاده از چرخه کاتیون هیدروژنی برای نرم سازی آب بویلرهای صنعتی در کشورمان به ندرت صورت می‌گیرد.

حال چنانچه بخواهیم آبی بدون یون داشته باشیم می‌بایست از دستگاه دی‌یونایزر استفاده کنیم. این دستگاه متشکل از ستون‌های تعویض یونی کاتیونی(سیکل هیدروژن)و آنیونی بوده و عملاً کلیه یون‌های موجود در آب را از آن جدا می‌کند.

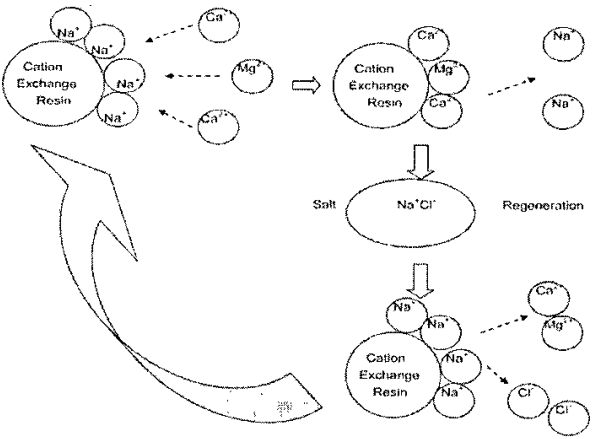


شکل ۸-۷: شماتیک دی یونایزر

احیاء

سختی‌گیرهای رزینی(سیکل سدیم) بعد از مدتی انجام مبادله در مدار سدیمی اشباع شده و می‌بایست توسط شستشو با نمک(NaCl) مجدداً احیاء شوند.

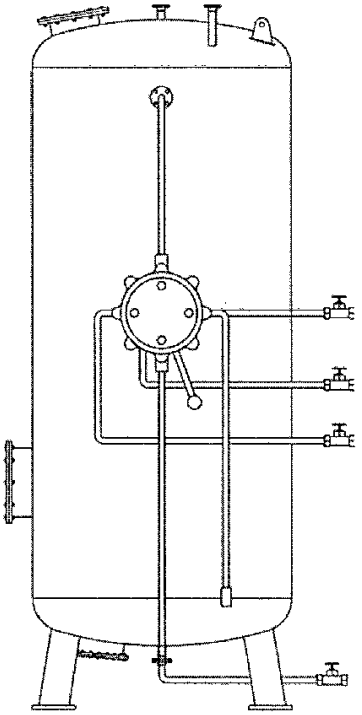
بهترین غلظت آب نمک جهت احیاء سختی‌گیرهای رزینی محلول ۱۰٪ (۱۰۰ گرم در هر لیتر) است. غلظت‌های بیشتر و کمتر تاثیر کمتری را در پی دارد. بدین ترتیب رزین مجدداً خاصیت سختی‌گیری خود را باز می‌یابد.



شکل ۸-۸: چرخه تعویض یون و احیا رزین کاتیونی

احیا با سولو ولو نیمه اتوماتیک

در شیرهای چند راهه نیمه اتوماتیک رایج در کشورمان، شیر تنها مجهز به ۳ حالت عملکرد است.



شکل ۸-۹: شماتیک تانک سختی‌گیر فلزی مجهز به شیر نیمه اتوماتیک

۱) سیکل بهره‌برداری:در این سیکل آب از بالا وارد شده و پس از گذر از ستون رزین با تبادل یون‌های خود به صورت آب نرم از دستگاه خارج می‌شود.

۲) شستشوی معکوس(بک‌واش): در این حالت جریان آب به صورت بر عکس از کف مخزن به طرف بالا جریان پیدا می‌کند. بدین ترتیب فشردگی بستر رزین از بین رفته و مواد معلق از آن زدوده می‌شود. چنانچه نازل‌های فوقانی کیفیت مناسبی نداشته باشد احتمال فرار رزین در شستشوی معکوس وجود دارد.

۳) احیاء: در این حالت جریان از بالا به پایین است و شیر چندراهه به کمک پدیده ونچوری آب نمک را از تانک نمک مکش کرده و به داخل ستون رزین هدایت می‌کند.

مراحل احیاء:

برای احیاء سختی‌گیر در مرحله اول می‌بایست به‌مدت حداقل ۵ دقیقه ستون رزین را تحت شستشوی معکوس قرار داد تا جریان معکوس فشردگی رزین را از بین ببرد. بدین ترتیب نمک می‌تواند به سادگی به کلیه بخش‌های رزین دسترسی پیدا کند و عملیات احیاء به بهترین شکل صورت گیرد.

طول عملیات شستشوی معکوس بنابر ابعاد دستگاه وکیفیت آب سیستم می‌تواند تا ۲۰ دقیقه نیز به طول بی‌انجامد.

در مرحله دوم با قرار دادن شیر در حالت احیاء آب و نمک از بالا وارد شده و از پایین خارج می‌شود. بدین ترتیب سدیم جای خود را با سایر فلزات متصل به رزین تعویض می‌کند. این فرآیند بنابر سایز دستگاه و کیفیت نمک می‌تواند بین۱۵-۵۰ دقیقه به طول بی‌انجامد.

در مرحله آخر و بعد از پایان شستشو با نمک نوبت به شستشو با آب است. در این مرحله می‌توانیم با بستن شیر خط مکش نمک و مسدود کردن مسیر مکش فقط آب را وارد سختی‌گیر کنیم. این کار را تا آنجاییکه شوری آب تمام شود می‌بایست ادامه داد.

در پایان سیکل شستشو اهرم شیر چندراهه را در حالت سرویس قرار داده و باید از آب نرم خروجی آب مکیده شده از تانک نمک را جبران نمود و در صورت نیاز به آن نمک اضافه نمود.

احیاء در مخازن FRP

احیاء در مخازن FRP شامل ۵ مرحله است که این مراحل یا به صورت دستی توسط اپراتور و یا به صورت اتوماتیک توسط شیر اتوماتیک صورت می‌گیرد.

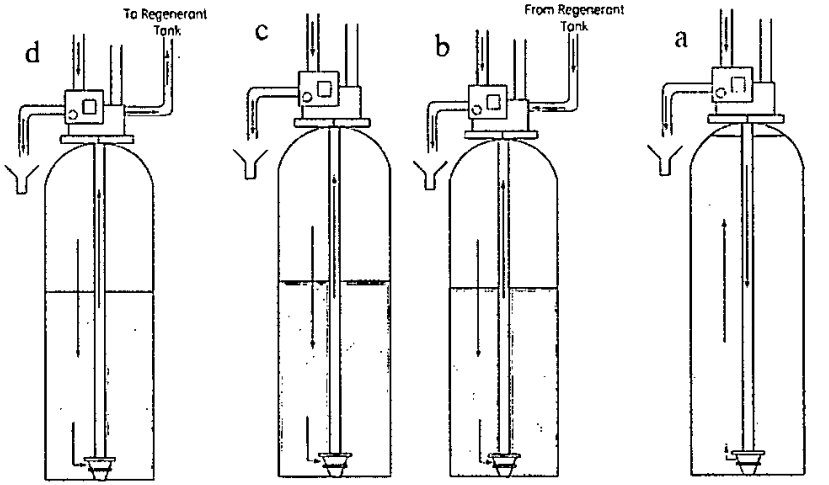
۱) شستشوی‌معکوس:در این مرحله جهت جریان ورود و خروج آب برعکس شده و همین امر سبب می‌شود فشردگی رزین از بین برود. بدین ترتیب نمک می‌تواند به سادگی به کلیه بخش‌های رزین دسترسی پیدا کند. جریان مورد نیاز شستشوی معکوس ۵-۶ گالن در دقیقه به ازاء هر فوت مربع از سطح مخزن است. این جریان زیاد آب به معلق کردن سطح رزین کمک شایانی می‌کند. این مرحله تنها مرحله از مراحل احیاء است که جریان به صورت عکس حرکت می‌کند. حداقل زمان شستشوی معکوس ۵ دقیقه است که با توجه با سایز دستگاه و کیفیت آب و مواد معلق موجود در آب می‌تواند تا ۲۰ دقیق نیز دامه یابد.(شکل a)

۲) مکش نمک: شیر در حالت مکش قرار می‌گیرد و شروع به مکش نمک و تزریق آن به داخل سختی‌گیر می‌کند. (شکل b)جریان آب در این مرحله۰/۵-۱گالن در دقیقه به ازاء هر فوت مکعب(۲۸ لیتر) رزین است. زمان این مرحله بستگی به حجم رزین و کیفیت نمک دارد. در شیرهای تمام اتوماتیک با پایین رفتن سطح آب نمک در مخزن و فرمان لِوِل‌کنترل در داخل تانک نمک به صورت اتوماتیک مکش قطع می‌شود. در این شرایط آب نمک مورد نیاز جهت احیاء کل ستون رزین وارد شده و شیر وارد مرحله بعد می‌شود. در حالت دستی اپراتور به صورت چشمی با نگاه به تانک نمک تصمیم به قطع مکش می‌گیرد. (زمان شستشوی نمک حد اکثر ۲۵ دقیقه به طول می‌انجامد)

۳) آبکشی آرام: آبکشی آب نمک در ستون رزین در این روش در دو مرحله صورت می‌گیرد. (شکل c) مرحله اول شستشوی آرام با دبی ۰/۵-۱گالن در دقیقه به ازاء هر فوت‌مکعب(۲۸ لیتر) رزین. آب ناشی از شستشو به سمت فاضلاب هدایت می‌شود.(زمان شستشوی آرام حد اکثر ۱۵ دقیقه به طول می‌انجامد)

۴) آبکشی سریع: مشابه مرحله ۳ است (شکل c)با این تفاوت که با جریان آب ۱/۵- ۳ گالن در دقیقه به ازاء هر فوت مکعب(۲۸ لیتر) رزین است. .(زمان شستشوی سریع حداکثر ۳۰ دقیقه به طول می‌انجامد)

۵) پرکن نمک: این مرحله آخرین مرحله از سیکل احیاء بوده و در آن مخزن نمک با آب نرم پر خواهد شد. در شیرهای اتوماتیک آب تا سطح از پیش تعیین شده توسط لِوِل‌کنترل پر شده و در حالت دستی توسط اپراتور چک می‌شود. در این مرحله آب نرم هم از مسیر خروجی به سمت تانک خارج می‌شود و هم از مسیر درین جهت شستشوی خط درین با آب نرم. (شکل d)



شکل ۸-۱۰: مراحل احیاء در مخازن *FRP*

احیا سختی‌گیر مراحل متعددی داشته آب بسیار زیادی را تلف می‌کند. بنابراین آب نرم را می‌بایست در سیکل بخار و کندانس تا حد ممکن به گردش در آورد و از اتلاف آن جلوگیری نمود.

محاسبات سختی‌گیر رزینی

واحد محاسباتی ظرفیت دستگاه سختی‌گیر "گرین" است. قبل از آنکه به توضیح روش محاسبه این ظرفیت بپردازیم باید به این سوال اساسی پاسخ داد که گرین چیست؟

واحد سختی در سیستم آمریکایی گرین در گالن[1] است. هر یک gpg معادل وجود یک گرین (۶۴/۸ میلی‌گرم) کربنات کلسیم در یک گالن (۳/۷۸ لیتر)آب است. بنابراین یک سختی‌گیر به ظرفیت ۵۰,۰۰۰گرین می‌تواند ۵۰,۰۰۰گالن آب با سختی gpg ۱ را تعویض یون کند و سپس باید وارد سیکل احیاء شود.

با توجه به این توضیحات می‌توان دریافت که برای محاسبه ظرفیت سختی‌گیر به سختی کل آب و دبی آب سیستم نیاز است. برای مثال چنانچه به نرم سازی ۱۰۰گالن در دقیقه آب با سختی gpg ۷ احتیاج باشد:

۷gpg ×۱۰۰gpm=۷۰۰

به ۷۰۰ گرین در دقیقه ظرفیت سختی‌گیری احتیاج داریم. حال چنانچه بخواهیم سیکل عملکرد دستگاه ۱۰ ساعت باشد:

۷۰۰×۶۰×۱۰=۴۲۰۰۰۰

به یک سختی‌گیر به ظرفیت ۴۲۰,۰۰۰ گرین احتیاج است. بنابراین برای محاسبه ظرفیت سختی‌گیر

1- gpg(Grain Per Galon)

می‌توان از رابطه ۸-۱استفاده نمود:

$$gpg \times gpm \times T(min) = Softener\ grain \qquad (۱-۸)$$

از آنجاییکه واحد سختی در کشورمان ppm(قسمت در میلیون) است و هر gpg معادل ۱۷/۱ppm است فرمول محاسبه سختی‌گیر به شکل رابطه۸-۲ بدست می‌آید:

$$Softenergrain = \frac{ppm \times gpm \times T(min)}{۱۷/۱} \qquad (۲-۸)$$

که در آن:

سختی کل به قسمت در میلیون

دبی به گالن در دقیقه

زمان به دقیقه

همچنین با تبدیل گالن در دقیقه به متر مکعب بر ساعت و دقیقه به ساعت فرمول نهایی به شکل رابطه۸-۳ در می‌آید:

$$Softener\ grain = ۱۵/۹ \times ppm \times T \times {}^{m^3}/_{hr} \qquad (۳-۸)$$

که در آن:

سختی کل به قسمت در میلیون

دبی به متر مکعب بر ساعت

زمان به ساعت

زمان مورد استفاده در فرمول بنابر نظر طراح بوده و حداقل برابر یک روز کاری محاسبه می‌شود تا حین کار دیگ‌خانه نیاز به خارج کردن دستگاه از مدار نباشد. البته از آنجاییکه سیکل احیاء نسبتاً طولانی بوده و آب زیادی مصرف می‌کند و برای ایجاد ضریب اطمینان در احیاء کامل همواره مقداری آب اضافه بر نیاز نیز استفاده می‌شود هر چه بازه زمانی بین دو احیاء بیشتر باشد در مصرف آب و انرژی صرفه‌جویی خواهد شد.

حال که ظرفیت سختی‌گیر بدست آمد سوال اینجاست که به چه میزان رزین و نمک احتیاج داریم و ابعاد مخزن به چه ترتیب است؟

برای انتخاب رزین می‌بایست به جدول ارائه شده توسط سازنده مراجعه و ظرفیت آنرا محاسبه نماییم. اما به عنوان محاسبات سرانگشتی و نسبتاً دقیق برای رزین‌های کاتیونی قوی به ازاء هر ۲۵ لیتر(یک کیسه رزین) می‌توان ظرفیتی معادل ۲۸,۰۰۰ گرین را در نظر گرفت.

نمک مورد نیاز برای احیاء سختی‌گیر طبق استاندارد ANSI44 باید دارای چنان کیفیتی باشد که بتواند با ازاء هر پوند(۴۵۳گرم) ۳۳۵۰ گرین رزین را احیاء نماید. که البته در کشورمان این عدد با فاصله‌ای نسبتاً زیاد برابر ۵۰۰۰ گرین به ازاء هر کیلوگرم نمک محاسبه می‌شود. که این یعنی یک دستگاه ۴۰۰,۰۰۰ گرین برای احیاء به ۸۰ کیلوگرم نمک احتیاج دارد. در حالی که طبق استاندارد این احیاء می‌بایست با حداکثر ۵۴ کیلوگرم نمک انجام شود.

نکات اجرایی سختی‌گیرهای رزینی

کیفیت آب: چنانچه آبی که از سختی‌گیر گذر می‌کند دارای مواد معلق زیادی باشد و یا کدورت بالایی داشته باشد باعث گرفتگی و کور شدن رزین‌ها می‌شود. رزین در این شرایط در مدت زمان کوتاهی فرسوده شده و زمان سرویس آن کوتاه ترشده و مرتباً به احیاء نیاز پیدا می‌کند. بهتر است برای

جلوگیری از فرسودگی زودرس برای رزین‌ها که غالباً قیمت بالایی دارند از یک فیلتر شنی قبل از سختی‌گیر استفاده شود.

آب نمک: نمکی که برای احیاء رزین از آن استفاده می‌شود بهتر است نمک متبلور با خلوص بالا باشد در غیر این صورت نا خالصی‌های موجود در نمک سبب کاهش عمر رزین خواهد شد. از طرف دیگر آبی که برای تولید آب نمک استفاده می‌شود می‌بایست از آب نرم باشد و نباید از آب سخت استفاده نمود. در بعضی از انواع شیرهای چند راهه مسیر پرکن تانک نمک وجود دارد که می‌توان از آن استفاده کرد. در غیر این صورت باید از خط آب نرم یک خروجی برای پر کردن آب تانک نمک نصب و اجراء نمود.

فشار آب: برای آنکه مکش در شیر چند راهه به خوبی صورت گیرد فشار نباید از ۲ اتمسفر کمتر باشد. از طرف دیگر فشار زیاد ممکن است به شیر چند راهه و یا ستون رزین آسیب بزند و یا حتی موجب فرار رزین از دستگاه شود. در مواردی که امکان دارد در بعضی از ساعات شبانه روز فشار آب سیستم بالا برود بهتر است با نصب سوپاپ اطمینان از آزاد سازی فشار اضافی مطمئن شویم. توصیه می‌شود دستگاه سختی‌گیر همواره به یک گیج فشار مجهز باشد تا اپراتور بتواند در طول ساعات شبانه روز به سادگی از فشار سیستم مطلع شود.

سامانه لوله کشی: برای اطمینان از عملکرد صحیح دستگاه می‌بایست تمامی اتصالات کاملاً آب‌بندی باشد در غیر این صورت ممکن است دبی مورد نیاز تامین نشده و مکش به درستی صورت نگیرد. از طرف دیگر شیر چند راهه، اصطلاحاً تکیه‌گاه سامانه لوله‌کشی نیست و به هیچ عنوان نباید وزن سامانه لوله‌کشی مستقیماً روی شیر چند راهه قرار گیرد.این مساله در مورد شیرهای چند راهه اتوماتیک و نیمه اتوماتیک مخازن پلی‌پروپیلن از اهمیت بیشتری برخوردارد است.

تانک نمک: بهتر است تانک نمک در نزدیک‌ترین فاصله ممکن از ستون رزین نصب شود تا مکش به سادگی از آن قابل انجام باشد. در سایت‌های بزرگ توصیه می‌شود تانک نمک به لِوِل‌کنترل مجهز باشد. برای جلوگیری از ورود ناخالصی به ستون رزین بهتر است از یک صافی در مکش نمک استفاده شود. این صافی می‌بایست به صورت دوره‌ای توسط اپراتور دیگ‌خانه مورد بازرسی قرار گیرد.

محل نصب: سختی‌گیر بهتر است در فضای بسته نصب شود و از تابش مستقیم نور خورشید و منابع گرما در امان باشد. هرچه محل نصب به مجرای فاضلاب و یا کانال تخلیه فاضلاب دیگ‌خانه نزدیک‌تر باشد بهتر است.همچنین محل نصب باید به گونه‌ای باشد که امکان تعمیر و نگهداری آن و تعویض رزین در صورت نیاز به سادگی امکان‌پذیر باشد.

طول سیکل شستشو: زمانی که سختی‌گیر تحت احیاء قرار می‌گیرد چنانچه طول زمان احیاء کامل نباشد و یا کیفیت آب نمک مناسب نباشد بخشی از رزین احیاء نشده باقی می‌ماند. اپراتور بعد از انجام سیکل احیاء توسط تست کیت سختی آب خروجی را می‌سنجد و از عملکرد صحیح دستگاه مطمئن می‌شود. غافل از آنکه ممکن است ۸۰٪ رزین دستگاه احیاء شده باشد که همین ۸۰٪ نیز برای تولید آب نرم اولیه کافیست و اپراتور می‌پندارد که احیاء به طور کامل صورت گرفته است. بدین ترتیب دستگاه نمی‌تواند به تعداد ساعات محاسبه شده آب نرم تولید نماید و بعد از مدتی آب سخت را به سمت بویلر هدایت می‌کند. این اتفاق همچنین در شیرهای تمام اتوماتیکی که سیکل احیاء براساس آب نمک ۱۰٪ با بلور خالص برنامه‌ریزی شده است نیز چنانچه کیفیت آب نمک مناسب نباشد اتفاق می‌افتد.

هواگیری: در مخازن فلزی در ابتدای راه‌اندازی سختی‌گیر می‌بایست تانک را هواگیری نمود. بدین منظور شیر هواگیری بالای مخزن را باز کرده و شیر مسیر خروجی را می‌بندیم. سپس شیر چندراهه را در حالت RUN قرار داده تا آب وارد مخزن شود. با پر شدن مخزن و تخلیه هوا از شیر هواگیری و خروج آب از آن شیر خروجی را باز کرده و شیر هواگیری را می‌بندیم.

جریان مورد نیاز در سیستم‌های بسته صرفاً برای تامین آب ناشی از نشتی در سیستم بوده و برابر ۲-۳٪ از دبی آب در گردش در نظر گرفته می‌شود.

تمرین:

مطلوبست محاسبه سختی‌گیر مناسب برای دیگ‌خانه‌ای شامل یک دستگاه دیگ‌بخار با ظرفیت تولید حداکثر $۵,۰۰۰ \frac{kg}{hr}$ چنانچه:

سختی کل آب شهرک صنعتی ppm ۵۰۰باشد

میزان کندانس برگشتی ۶۰٪ باشد

ساعت کارکرد روزانه ۸ ساعت و سیکل احیاء ۳روز کاری باشد

حل:

از آنجاییکه ساعت کار دیگ‌خانه ۸ ساعت و سیکل احیاء ۳ روز است سختی‌گیر باید بتواند به مدت ۲۴ ساعت آب نرم تامین نماید. از طرف دیگر بازگشت ۶۰٪ کندانس سبب می‌شود تنها ۴۰٪ از آب تغذیه نیاز به عبور از سختی‌گیر را داشته باشد.(البته به غیر از آبگیری بویلر در زمان راه اندازی) محاسبات سختی‌گیر نیز براساس سیکل کارکرد بویلر محاسبه و اجرا می‌شود و آبگیری بویلر در زمان راه‌اندازی ملاک محاسبات نیست.

٪۴۰×۵۰۰۰=۲۰۰۰

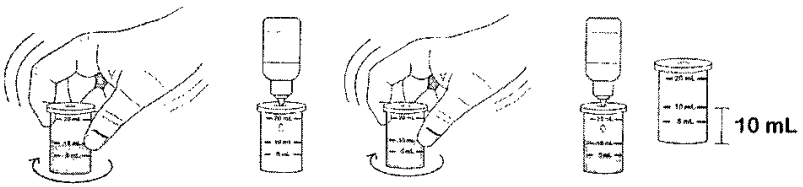
۲×۵۰۰×۲۴×۱۵/۹=۳۸۱۶۰۰

بنابراین به یک سختی‌گیر به ظرفیت ۳۸۱,۶۰۰ گرین احتیاج است. نزدیک‌ترین دستگاه سختی‌گیر به این ظرفیت دستگاه ۴۰۰,۰۰۰گرین است.

تست کیت سختی

برای اطلاع از کیفیت آب تغذیه بویلر می‌بایست آن را مورد تست سختی قرار داد. متداول‌ترین روش در تست سختی آب استفاده از تست کیت‌های سختی کل است. تست کیت‌های سختی کل متشکل از یک ظرف آزمایش و دو محلول شیمیایی است که به کمک آنها می‌توان میزان سختی کل آب را محاسبه نمود.

روش تست به این صورت است که ظرف آزمایش را ابتدا با آب مورد آزمایش شسته و آنرا تا خط نشانه (۱۰میلی لیتر) پر می‌کنند. سپس به آن یک محلول شیمیایی اضافه کرده و آنرا به هم می‌زنند. در مارک‌های مختلف این تست کیت‌ها بنابر نوع ماده شیمیایی مقدار تزریق آن متفاوت است. این محلول در صورت وجود سختی در آب آنرا به رنگ شرابی در خواهد آورد. در مرحله آخر مشابه مرحله دوم ماده شیمیایی دوم را به آب شرابی رنگ می‌افزایند تا رنگ آنرا به آبی تغییر دهد. محلول شیمیایی دوم براساس نوع و مارک کیت می‌تواند معرف ۱ و یا ۱۰ PPM سختی کل باشد. از ضرب تعداد قطرات در ۱ و یا ۱۰ سختی کل آب مورد آزمایش بر حسبPPM محاسبه می‌شود.

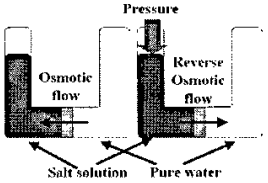


شکل ۸-۱۱: مراحل انجام تست سختی(از راست به چپ)

ریورس اسمز[1] (RO)

سیستم‌های اسمز معکوس(R.O) در اوایل جنگ سرد و برای تامین آب فضا نوردان ساخته شد. این سیستم با عمری قریب به نیم قرن به یکی از پر کاربردترین روش‌ها در تولید آب شیرین در آمده است.

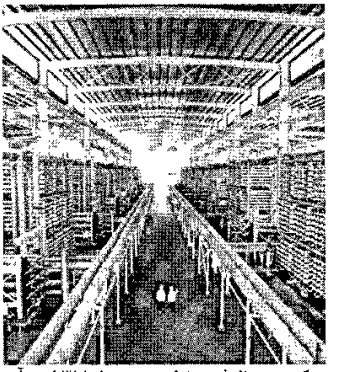
اسمز معکوس در یک تعریف ساده یک فرایند فیزیکی است که می‌تواند از محلولی ناخالص(حلال + ناخالصی) به کمک یک غشاء نیمه تراوا، حلال تقریباً خالص تهیه کند[2].



شکل ۸-۱۲: شماتیک فرآیند اسمز معکوس

در فرایند اسمزی آب در غشای نیمه تروا از سمت خالص به به سمت ناخالص حرکت می‌کند در حالی که در اسمزمعکوس از فشار برای معکوس کردن جریان اسمزی در درون غشاء نیمه تراوا استفاده می‌شود. آبی که تحت فشار به ممبران می‌رسد کلیه نمک‌های محلول و نامحلول خود را از دست می‌دهد و به صورت آب تقریباً خالص از غشاء خارج می‌شود. بنابر کیفیت آب ورودی بخشی از آن نیز به صورت پسماند از سیستم خارج می‌شود.

استفاده از سیستم اسمز معکوس در تامین آب شیرین کاربرد وسیعی دارد. و در کشورهای مختلف از آن برای تامین آب شرب استفاده می‌کنند. شکل۸-۱۳ یک سیستم اسمز معکوس در کشور سنگاپور را به ظرفیت تولید ۳۱۸,۵۰۰,۰۰۰ لیتر آب شیرین در روز را نشان می‌دهد.



شکل ۸-۱۳: یک دستگاه اسمز معکوس به ظرفیت تولید ۳۱۸,۵۰۰,۰۰۰ لیتر آب شیرین در روز (سنگاپور)

وظیفه اصلی در شیرین کردن آب در دستگاه‌های R.O به عهده ممبران[3](غشاء نیمه تراوا) است. غشاء نیمه تراوا به

1- Reverse Osmosis

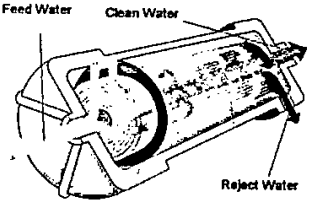
[2] فیلم آموزشی شماره۸-۲را ببینید

[3] فیلم آموزشی شماره۸-۳ را ببینید

این معناست که ممبران برای برخی ذرات تراوا و برخی دیگر تراوا نیست. غشاءهای بکار رفته در سیستم‌های R.O برای آب تراوا بوده و برای نمک‌ها غیر تراوا هستند. بنابراین این غشاء تنها اجازه عبور آب را می‌دهد.

ممبران یک قطعه سیلندری شکل است و به نحوی ساخته شده است که مولکول‌های غیر یونی مانند مولکول‌های آب را از خود عبور می‌دهد. ممبران‌ها دارای سه لایه اصلی هستند. لایه اول لایه نگه دارنده رطوبت. لایه داخلی از جنس پلی سولفون بسیار ریز و یک لایه پلی آمید بسیار نازک.

ممبران‌ها دارای یک ورودی و دو خروجی هستند. در ورودی آب با TDS بالا وارد شده و در خروجی آب تصفیه شده(۹۵-۹۹٪ خالص) و پسماند خارج می‌شود. ممبران‌ها دارای سوراخ‌های‌ریزی به اندازه میکرون هستند و بنابراین آب ورودی می‌بایست پیش از ورود به ممبران حتما مورد فیلتراسیون قرار گیرد.

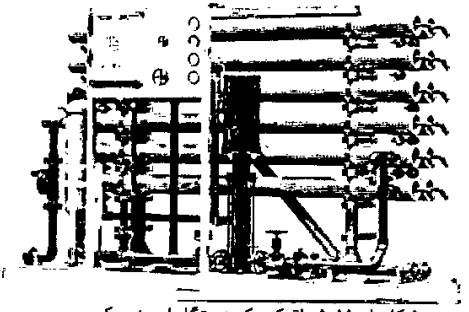


شکل ۸-۱۴: برش خورده غشاء نیمه تراوا

فشار مورد نیاز برای فرایند اسمز معکوس توسط پمپ ایجاد می‌شود. اساساً هزینه اصلی در تولید آب شیرین به وسیلهR.O نیز دقیقاً همین برق مصرفی توسط پمپ است. فشار مورد نیاز برای تامین اختلاف فشار اسمزی بستگی به کیفیت آب ورودی به R.O دارد. هرچه غلظت نمک‌های محلول در آب بیشتر باشد به فشار اسمزی بیشتر و در نتیجه پسماند بیشتری برای تولید آب خالص احتیاج است.

کاربرد سیستم‌های R.O در کشورمان بسیار وسیع بوده و در صنایع غذایی، داروسازی، نوشابه سازی و .. از آن استفاده می‌شود. همچنین از دستگاه‌های R.O برای تامین آب تغذیه بویلرهای صنعتی و نیروگاهی نیز در کشورمان استفاده می‌شود. که البته استفاده از R.O برای تامین آب تغذیه بویلرهای صنعتی در اکثر موارد به دلیل هزینه اولیه بالا و مصرف برق فراوان اقتصادی نیست.

بعضاً تصور بر این است که آب خارج شده از R.O از آنجاییکه تقریباً خالص است (۹۵-۹۹٪) بنابراین دیگر احتیاج به هیچ تصفیه‌ای ندارد. در صورتی که PH آب خالص نزدیک به هفت بوده و به هیچ عنوان مناسب برای دیگ‌های بخار نیست. از این رو حتماً می‌بایست مورد تصفیه داخلی قرار گرفته و با تزریق مواد شیمیایی PH آن کنترل شود.



شکل ۸-۱۵: شماتیک یک دستگاه اسمز معکوس

الکترو دیالیز[1]

الکترو دیالیزکه علامت مخفف ED نشان داده می‌شود یک فرایند جداسازی غشایی است کـه درآن از اختلاف پتانسیل الکتریکی به عنوان نیروی محرکه جهت انتقال یون‌ها استفاده می‌شود.

در این سیستم از غشاهای پلیمری حاوی رزین‌های تبادل یونی استفاده می‌گردد. این رزین‌ها بـر روی پارچه‌هایی پلیمری مانند پلی اتیلن پوشش داده شده‌اند. پرده‌هـای کـاتیونی نـسبت بـه کـاتیون‌هـا تـراوا می‌باشند و آنیون‌ها فقط می‌توانند از غشاهای آنیونی عبور نمایند.

فضای بین دو غشای غیر همنام سل نامیده می‌شود. در سیستم‌های پیشرفته دستگاه الکترودیـالیز بـه شیوه‌ای طراحی و بهره‌برداری می‌گردد که در حدود هر ۱۵ دقیقـه یـک مرتبـه قطـب کاتـد وانـد جابجـا می‌شوند و به طور اتوماتیک از رسوب روی الکترودها و گرفتگی غشاها کاسته مـی‌شـود. غـشاها توسـط جداکننده‌های پلیمری از یکدیگر مجزا می‌شوند به طور معمول ضـخامت ایـن تـوری‌هـا در فـضای بـین غشاءها نیم میلی‌متر و در کنار الکترودها یک میلی‌متر می‌باشد.

گازهای غیر قابل کندانس[2] محلول در آب

تمام موجودات زنده به نحوی متکی به اکسیژن هستند تا بتواننـد انـرژی لازم بـرای رشـد و سـنتز را تامین نمایند. تمام گازهای اتمسفر تا حدودی در آب محلول‌اند. نیتروژن و اکـسیژن و دی‌اکـسیدکربن بـه مقدار کمی در آب حل می‌شوند و چون با آب واکنش شیمیایی نمی‌دهند حلالیت آنها مستقیماً متناسب بـا فشار جزئی آن در هوا است (قانون هنری) و با دما نیز تغییر می‌کند. همچنین حلالیت گازهـا در آب‌هـای شور کمتر است.

با افزایش دما حلالیت اکسیژن در آب‌ها کاهش می‌یابد و از طرفی سرعت فعالیت‌هـای بیولـوژیکی و نیاز به اکسیژن افزایش خواهد یافت. همچنین مقدار حلالیت اکسیژن در آبهـای آلـوده کمتـر از آب تمیـز است.

غلظت اکسیژن محلول آب تغذیه قبل از ورود به بویلر می‌بایست کمتر از 15PPB(قـسمت در بیلیـون) باشد. از اینرو می‌بایست از دو طریـق تـصفیه فیزیکـی (دسـتگاه اکـسیژن‌زدا (DEARATOR))و تـصفیه داخلی (تزریق مواد شیمیایی) این اکسیژن و سایر گازهای نا محلول را از آب جدا کرد.

اکسیژن محلول

مهمترین مشکل ایجاد شده توسط اکسیژن خوردگی است. معادله خـوردگی اکـسیژن بـه شـکل زیـر است.

$$2Fe + O_2 + 2H_2O \rightarrow 2Fe(OH)_2$$
$$4Fe(OH)_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O + 2Fe_2O_3.H_2O$$

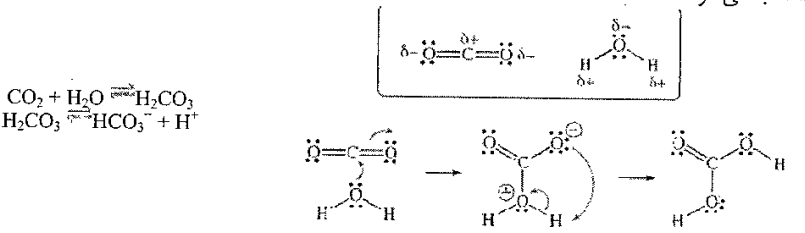
- این فرآیند عامل ایجاد سوراخ بر روی سطوح لوله است.اکسیژن همچنـین باعـث خـوردگی در پمپ بویلر می‌شود.
- اکسیژن در حد فاصل فاز مایع و فاز بخار باعث ایجاد حفره‌های موضعی[3] می‌گـردد کـه انفجـار حفره‌ها یکی از عوامل آسیب دیدگی دیگ‌های بخار است.
- در فرآیندهایی که بخار به منظور بوزدایی استفاده می‌شود مانند تولید روغن نباتی وجـود اکـسیژن نـه

1- Electrodialysis
2- Non Condensable Gas
3- Pitting

تنها بوزدایی را مختل می‌کند بلکه در اثر اکسیداسیون در محصول ایجاد بو خواهد کرد.

دی‌اکسید کربن

کربن دی‌اکسید، دی‌اکسید کربن یا **گازکربنیک** با فرمول شیمیایی CO_2 از ترکیب کربن با اکسیژن بدست می‌آید. گاز دی‌اکسیدکربن نخستین بار توسط جوزف بلک دانشمند اسکاتلندی در دهه ۱۷۵۰میلادی در دانشگاه گلاسگو کشف شد. دی‌اکسیدکربن در محلول‌های آبی به صورت آزاد یا به شکل یون‌های کربناتی یا بی‌کربناتی وجود دارد. وجود این گاز در آب می‌تواند ناشی از حل شدن CO_2 موجود در هوا و یا تجزیه مواد آلی موجود در آب باشد، با وجودی‌که مقدار CO_2 موجود در هوا کمتر از حدود ۰,۰۴ درصد است، ولی این مقدار در آبهای سطحی در مقایسه با اکسیژن محلول قابل توجه بوده و به 10PPM می‌رسد. در آب چاه‌ها این مقدار تا حد100PPM می‌رسد. دی‌اکسیدکربن خود به‌تنهایی خوردگی ندارد اما طبق فرآیند زیر با تولید اسید کربنیک که یک اسید ضعیف است با عث پایین آمدن PH آب می‌شود:



$$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3$$
$$H_2CO_3 \rightleftharpoons HCO_3^- + H^+$$

+Hبه‌وجود آمده در معادله فوق نیز باعث خوردگی لوله‌ها می‌گردد.

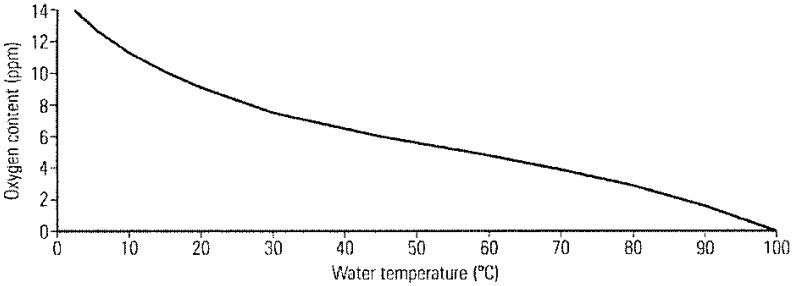
اسید کربنیک خود ترکیبی خورنده است در PHهای پائین علاوه بر اینکه اسیدکربنیک خورنده تولید می‌شود، خاصیت خورندگی اکسیژن را هم بالا می‌رود. بنابراین چنانچه هردوی اینها یعنی اکسیژن و دی‌اکسیدکربن تواماً وارد سیستم شود در مدت زمان کوتاهی لوله‌ها از بین خواهد رفت.

حذف فیزیکی در تصفیه خارجی

قانون هنری: قانون هنری قانونی است که در ارتباط با تاثیر فشار در حلالیت گازها در مایعات توسط ویلیام هنری در ۱۸۰۳به بیان زیر عنوان شده است:

در یک دمای ثابت، جرم گاز حل شده در حجم معینی از یک مایع؛ نسبت مستقیم دارد، با فشار جزئی آن گاز بر روی محلول حاصل. مشروط به اینکه گاز نسبتاً کم محلول ویا رقیق بوده و با حلال واکنش شیمیایی نداشته باشد.

از این قانون می‌توان دریافت که اولاً با کاهش فشار جزئی گاز می‌توان غلظت آنرا در آب کم کرد و ثانیاً حلالیت گاز در آب را با افزایش دمای آب کاهش می‌یابد. از نظر تئوری در دمای اشباع°C ۱۰۰ (۲۱۲°F) تمامی گازهای غیرقابل کندانس از آب جدا خواهند شد. وظیفه دی‌اریتور در سیستم تصفیه خارجی آب بویلر جلوگیری از ورود این گازها به بویلر براساس همین قانون است.



شکل ۸-۱۶: حلالیت اکسیژن در آب در دماهای مختلف در فشار اتمسفر

دی‌اریتور Deaerator

در یک تعریف ساده دی‌اریتور یک مبدل حرارتی با تماس مستقیم است که به کمک برخورد آب و بخار و در نتیجه گرم کردن آب(قانون هنری) گازهای محلول در آب را از آن جدا می‌کند. همچنین به دلیل پایین بودن فشار جزئی گازهای مورد نظر در فضای داخلی دی‌اریتور، گازهای محلول در آب به فضای مجاور خود (فاز بخار) منتقل می‌گردند. همچنین خلاء موضعی ناشی از کندانس شدن بخار به حذف گازهای محلول در آب منجر می‌شود. دی‌اریتور با گرمایش آب تغذیه به بهبود عملکرد بویلر کمک کرده و عملکرد صحیح آن می‌تواند موجب کاهش تزریق مواد شیمیایی به آب بویلر به خصوص سولفیت سدیم شود. مقدار نرمال اکسیژن در آب تغذیه بعد از دی‌اریتور ppm ۰/۰۰۵است.

حال سوال اینجاست:

- انواع دی‌اریتور کدامند؟
- کدام نوع مناسب‌تر است مزایا معایب آنها چیست؟
- دی‌اریتور چقدر بخار مصرف می‌کند؟

انواع دی‌اریتور

دی‌اریتورها در یک دسته‌بندی کلی به دو تقسیم می‌شود:

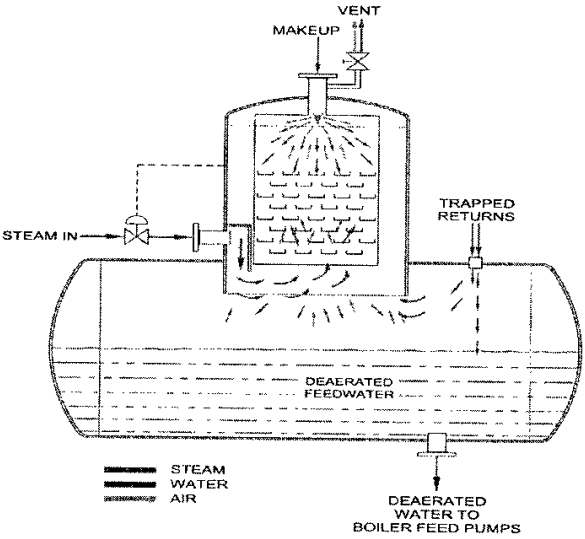
۱- دی‌اریتور سینی دار[1]

۲- دی‌اریتور اسپری یا پاششی[2]

دی‌اریتور سینی دار

در این نوع از دی‌اریتور (شکل۸-۱۷)برای آزاد سازی گازهای محلول از سینی‌های پشت سرهم کمک گرفته می‌شود. آب از طریق پاشش از بالای محفظه روی سینی‌ها به صورت آبشاری حرکت می‌کند. در داخل این محفظه از طریق خط ورودی بخار همواره مملو از بخار است. این بخار ذرات و لایه‌های نازک آب را گرم کرده و گازهای حل شده در آن مانند اکسیژن و دی‌اکسیدکربن را جدا می‌کند.

1- Try Type
1- Spray Type

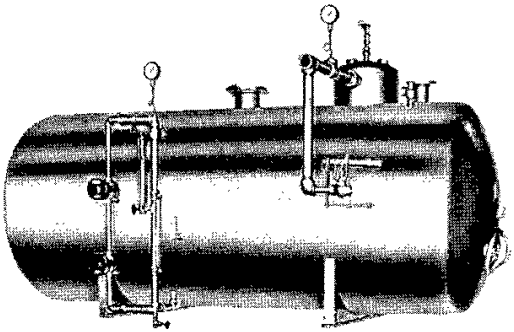


شکل۸-۱۷: شماتیک دی‌اریتور سینی دار

در این نوع از دی‌اریتور مقدار مشابهی آب در معرض بخار قرار گرفته و گازهای محلول در آن آزاد خواهند شد. در نتیجه مستقل از دمای ورودی آب خواهد بود. همچنین با کاهش بار بهره‌برداری به حداکثر مقدار طراحی نسبت سطح به قابلیت عبوردهی افزایش یافته و فیلم‌های نازک‌تری برای آزاد سازی گازها تشکیل خواهد شد. این امر گاززدایی موثر آب تحت تمام شرایط دمایی آب ورودی و شرایط جریان را فراهم خواهد نمود.

مزیت دی‌اریتورهای سینی دار در این است که چنانچه دی‌اریتور در بار متغیر و یا دمای آب ورودی متغیر بهره‌برداری می‌شود دی‌اریتور نوع سینی دار عملکرد مناسبی خواهد داشت. اما عیب این نوع دی‌اریتور مساله بروز کاویتاسیون در پمپ بویلر است. برای رفع این مشکل باید دی‌اریتور در ارتفاع ۹ متری از نقطه مکش پمپ تغذیه نصب شود تا از بروز پدیده کاویتاسیون جلوگیری به عمل آید.

دی‌اریتور پاششی یا اسپری (طرح پرموتیت)



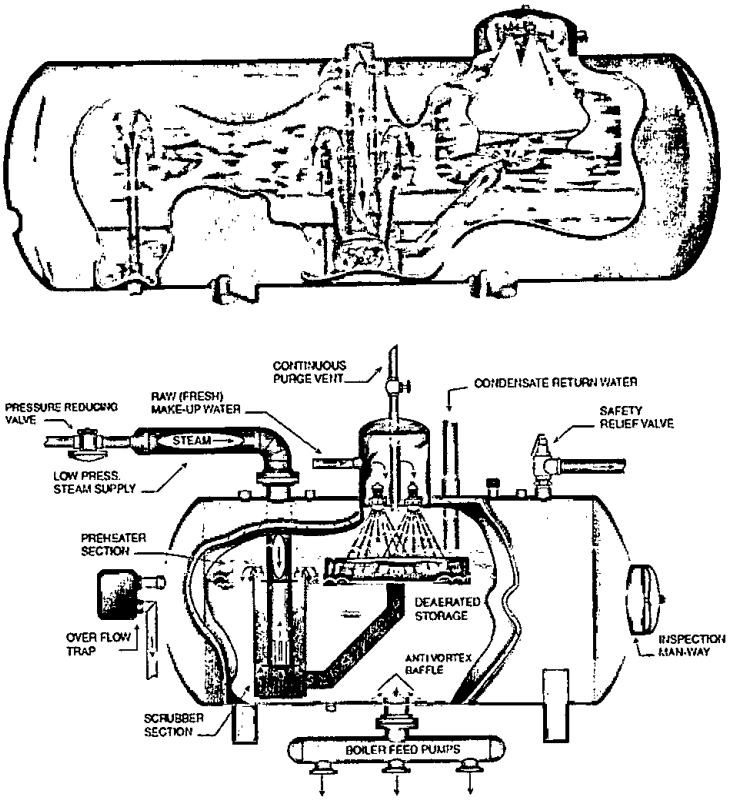
شکل۸-۱۸: دی‌اریتور اسپری

جریان آب

آب ورودی بـه دی‌اریتـور توسـط اسـپری ولـو بـه محفظـه بخـار قـسمت پـیش گـرم کـن اسـپری می‌شود.(شکل۸-۱۹) گذر آب از این محدوده مملو از بخار بخش اعظم گازهای خورنده را آزاد مـی‌کنـد. آب پیش گرم شده وارد قسمت اسکرابر شده و بعد از گذر از آن و بر اثر اختلاط آب بـا مقـدار زیـاد بخـار گازهای آن به طور کامل آزاد می‌شود.

جریان بخار

جریان بخار پس از ورود به دی‌اریتور از میان لوله‌های توزیع‌کننده به قـسمت اسـکرابر دی‌اریتـور وارد می‌شود. این بخار با سرعت زیاد به آب‌گرمی که از قسمت پیش گرم آمده است برخورد مـی‌کنـد.(در ایـن نوع طراحی در بارهای کم نیز برخورد به خوبی انجام می‌گیرد)



شکل ۸-۱۹: شماتیک حرکت آب و بخار در دی‌اریتور اسپری

این برخورد به شکل مکانیکی کلیه گازهای غیر قابل کندانس را آزاد می‌کند. پس از آن آب و بخار از قسمت اسکرابر خارج می‌شوند و بخار باقیمانده در داخل محفظه دی‌اریتور وظیفه پیش گرم را انجام می‌دهد بخش اعظم این بخار مجدداً کندانس می‌گردد و بخشی نیز همراه با گازهای غیر قابل کندانس از ونت به اتمسفر تخلیه می‌گردد و به همین ترتیب سیکل ادامه پیدا می‌کند.

مزایای این نوع از دی‌اریتور نسبت به نوع سینی دار:

- ✓ حداقل اتلاف بخار که نتیجه استفاده از کندانسور ونت مخصوص می‌باشد
- ✓ راندمان بالای گاززدایی در ۲ مرحله پیش گرم و اسکرابر(اکسیژن تا ۰/۰۰۵cc/lit و برای co2 نزدیک به صفر)
- ✓ قابلیت ساخت در ظرفیت‌های مختلف
- ✓ اما مهمترین مزیت این نوع از دی‌اریتور نسب آسان با حداقل ارتفاع سقف است. مهمترین مساله در انتقال آب دی‌اریتور با دمای بالا به بویلر مساله بروز پدیده کاویتاسون تبخیری (کلاسیک) در پمپ است. در دی‌اریتور پاششی طرح پرموتیت می‌توان با افزایش فشار موثر ناشی از حضور بخار در داخل تانک دی‌اریتور با ایجاد فشار مثبت NPSHa را افزایش داده و مانع از بروز کاویتاسیون در پمپ شد. به همین دلیل اصطلاحاً به این نوع از دی‌اریتور دی‌اریتور سقف کوتاه (LOW HEADROOM DEAERATOR) نیز می‌گویند.

بخار مورد نیاز

از آنجاییکه طبق قانون هنری حذف کامل گازهای غیرقابل کندانس در دمای اشباع اتفاق می‌افتد میزان بخار ورودی به دی‌اریتور باید توان بالا بردن دمای آب ورودی به دی‌اریتور به دمای آب اشباع را داشته باشد. بنابراین برای محاسبه بخار مورد نیاز باید دمای آب ورودی و دبی حداکثر پمپ بویلر را در نظر گرفت. سپس با مراجعه به جدول و بدست آوردن بخار مورد نیاز با مراجعه به کاتالوگ شیر فشارشکن براساس بخار ورودی از بویلر و خروجی از شیر (۱۵psi) سایز مناسب شیر فشارشکن را محاسبه نمود.

جدول۸-۲: بخار مورد نیاز دی‌اریتور اسپری

بخار مورد نیاز (٪)	میانگین دمای آب ورودی به دی‌اریتور (°F)
۴	۲۰۰
۸	۱۵۰
۱۲	۱۰۰
۱۶	۵۰

تمرین:

مطلوبست محاسبه بخار مورد نیاز برای دی‌اریتور دیگ‌خانه‌ای با ظرفیت حداکثر، 40000 lb/hr چنانچه:

- میزان کندانس برگشت۶۵٪ با دمای۱۸۰ °F باشد
- میزان آب جبرانی۳۵٪ با دمای۶۰ °F باشد

- فشار بخار بویلر psig ۱۲۵ باشد

حل:

با توجه به ۶۵٪ کندانس°F۱۸۰ و ۳۵٪ آب جبرانی °F۶۰ میانگین دمای آب ورودی به دی‌اریتور معادل F ° ۱۳۸ خواهد بود.

- 65% returns @ 180°F = 117° F
- 35% make-up @ 60°F = 21° F

138° F= 117° F +21° F

با مراجعه به جدول۸-۲ با روش میان‌یابی به ۹٪ بخار نیاز است.

600 lb/hr steam ،000 lb/hr x 9% = 3 ،40

حال می‌توان با مراجعه به کاتالوگ سازنده، فشارشکنی که بتواند با اختلاف فشار psig 125 به15psig بخار لازم را تامین نماید را انتخاب می‌کنیم.[1]

تصفیه داخلی

تصفیه داخلی مکمل تصفیه خارجی آب بویلر است. بدین عنوان که برای جذب باقیمانده اکسیژن و دی‌اکسیدکربن در آب بویلر و همچنین برای خارج کردن موفق رسوب از بویلر به کمک بلودان می‌بایست با تزریق یک یا چند ماده شیمیایی ترکیبات تشکیل دهنده رسوب را به لجنهای سیال و آزاد تبدیل کرد.

علاوه بر آن برای کنترل باقیمانده سختی در آب تغذیه و کنترل PH احتیاج به تصفیه داخلی بویلر است.

اکسیژن

اکسیژن نه تنها در داخل بخار بلکه در خط انتقال بخار و تجهیزات و همچنین لوله‌های آب کندانس برگشتی نیز خوردگی شدید به‌وجود می‌آورد. درجه حرارت تاثیر بسیار مهمی در میزان خوردگی اکسیژن دارد. زیرا افزایش دما می‌تواند باعث تشدید فعل و انفعالات اکسیداسیون گردد. عمل خوردگی توسط اکسیژن آبله گونه است که با ایجاد دمل‌های برجسته بر روی سطوح دیده می‌شود و با ادامه خوردگی، این سوراخ‌ها عمیق‌تر می‌گردد و در نهایت منجر به سوراخ شدن لوله می‌شود.

بخش اعظم اکسیژن محلول در آب تغذیه بویلر در دی‌اریتور جدا سازی می‌شود. لکن مقادیر کمی نیز وارد بویلر می‌شود که می‌بایست به کمک تزریق مواد شیمیایی از ایجاد خوردگی توسط آن جلوگیری نمود. پر کاربردترین مواد شیمیایی مورد استفاده برای جذب اکسیژن عبارت‌اند از:

- سولفیت سدیم
- هیدرازین

۱- طریقه انتخاب فشارشکن در فصل ۱۳ آمده است.

سولفیت سدیم Na2SO3

سولفیت سدیم پر کاربردترین عامل شیمیایی در بویلرهای لوله دودی(FIRE TUBE) است. این ماده شیمیایی علاوه بر آنکه قیمت مناسبی دارد سمی نبوده و حمل و نقل و استفاده از آن دارای پیچیدگی خاصی نیست.

سولفیت‌سدیم با اکسیژن موجود در آب بویلر طی واکنش زیر تولید سولفات‌سدیم می‌نماید.

$$2Na_2SO_3 + O_2 \rightarrow 2Na_2SO_4$$

میزان سولفیت‌سدیم مورد نیاز برای هر میلی‌گرم در لیتر اکسیژن دقیقاً به میزان ۷/۸۸ میلی‌گرم در لیتر است.

$$\frac{2(126\,g/mole\,Na_2SO_3)}{32\,g/mole\,O_2} = 7/88\ theoretical$$

اما از آنجاییکه سولفیت سدیم‌های تجاری خالص نیستند در عمل به ازاء هر میلی‌گرم در لیتر اکسیژن محلول ده میلی‌گرم در لیتر سولفیت‌سدیم نیاز است. در بویلر همواره می‌بایست چیزی حدود ۲۰۰ ppm سولفیت سدیم به صورت اضافی وجود داشته باشد.

همانطور که پیشتر گفتیم سولفیت سدیم برای استفاده در بویلرهای لوله دودی بسیار پر کاربرد است اما در بویلرهای واترتیوب (WATER TUBE) کارایی ندارد. علت آن شکستن پیوند سولفیت سدیم در دما و فشارهای بالای ۴۱ bar (600 psi) به شرح زیر است.

$$Na_2SO_3 + H_2O \rightarrow SO_2 + 2NaOH$$

$$4Na_2SO_3 + 2H_2O \rightarrow H_2S + 2NaOH + 3Na_2SO_4$$

SO2، H2S(دی‌اکسیدسولفور و سولفیدهیدروژن)تولید شده در این شکست گازهای بشدت خورنده‌اند. این گازها توسط بخار حمل شده و PH کندانس را بشدت کاهش می‌دهند.

هیدرازین N2H4

هیدرازین اولین بار توسط تئودور کرتیوس در سال ۱۸۸۹ ساخته شد. فرمول شیمیایی آن N2H4 است و ماده‌ای است بسیار سمی و خطرناک که صرفاً در مواردی که فشار بویلر بالا است و سولفیت‌سدیم کارایی خود را از دست میدهد از آن استفاده می‌شود.

هیدرازین طی معادله زیر با اکسیژن محلول در آب بویلر واکنش داده و N2 تولید می‌کند.

$$N_2H_4 + O_2 \rightarrow 2H_2O + N_2$$

همانطور که از معادله فوق پیداست هیدرازین TDS آب بویلر را افزایش نمی‌دهد. میزان هیدرازین مورد نیاز برای یک میلی‌گرم در لیتر اکسیژن معادل یک میلی‌گرم در لیتر هیدرازین است.

$$\frac{32\,g/mole\,hydrazine}{32\,g/mole\,O_2} = 1$$

اما از آنجاییکه هیدرازین‌های تجاری خالص نیستند در عمل به ازاء هر میلی‌گرم در لیتر اکسیژن محلول ۱/۵-۲ میلی‌گرم در لیتر هیدرازین نیاز است.

هیدرازین باقیمانده طبق معادله زیر در دمای بالای ۲۰۵ درجه سانتیگراد تجزیه شده و آمونیاک تولید می‌کند.

$$2N_2H_4 \rightarrow 2NH_3 + N_2 + H_2$$

آمونیاک تولید شده پس از انتقال توسط بخار دی‌اکسیدکربن موجود در کندانس را که خاصیت خورندگی دارد را خنثی می‌کند. برای جلوگیری از وجود آمونیاک زیادی در آب بویلر می‌بایست هیدرازین باقیمانده را در حد ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر نگه داشت.

دی‌اکسیدکربن یا گازکربنیک CO2

در صورتی که دی‌اریتور صحیح عمل کند اساساً CO2 در آب تغذیه باقی نمی‌ماند. اما سوال اینجاست که چرا همواره CO2 در آب بویلر وجود دارد؟

همانطور که پیش‌تر توضیح دادیم منابع تامین آب دیگ‌خانه یکی از موارد زیر است:

۱- آب‌های زیر زمینی مانند چاه و یا چشمه
۲- آب‌های سطحی مانند رود خانه‌ها و یا تالاب‌ها
۳- آب شهرها و یا شهرک‌های صنعتی

این آبها همگی دارای ترکیبات کربنات و بی کربنات هستند(CO3 ،HCO3) که این بی‌کربنات‌ها یا به صورت سختی (Ca(HCO3)، Mg(HCO3)) وارد بویلر می‌شود یا پس از گذر از سختی‌گیر رزینی(سیکل سدیم) به صورت 2NaHCO3 وارد بویلر می‌شوند.در هر روی در داخل بویلر با بالا رفتن دما تجزیه شده و طی واکنش زیرco2 آزاد می‌کنند. co2آزاد شده با بخار حرکت کرده و داخل سیستم کندانس با پایین آمدن دما مجدداً در آب حل می‌شود.

$$2\ NaHCO_3(s) \rightarrow CO_2(g) + H_2O(g) + Na_2CO_3(s)$$

Co2 خود به‌تنهایی خورنده نیست اما طی واکنش زیر H^+ آزاد می‌کند. این اتفاق PH آب را کاهش داده و اکسید فروس به‌وجود می‌آورد.

$$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3$$
$$H_2CO_3 \rightleftharpoons HCO_3^- + H$$

که این اکسید لوله را از بین خواهد برد و همچنین خوردگی اکسیژن محلول را نیز تسریع می‌کند.تجزیه کربنات‌ها در فشارهای مختلف بویلر در جدول زیر مشخص شده است.

جدول۸-۳: تجزیه کربنات‌ها در فشارهای مختلف

تجزیه کربنات‌ها(٪)	فشار سیستم(بار)
۰	۳
۱۲	۵
۴۰	۱۰
۶۳	۱۵
۷۷	۲۰
۸۵	۲۵
۹۰	۳۰
۹۳	۳۵
۹۶	۴۰
۹۸	۵۰

برای ممانعت از این اتفاق دو راه حل پیش روست:

۱- خنثی کردن(بی اثر کردن) Co2
۲- تشکیل فیلم نازکی از رسوبات کربنات کلسیم روی سطوح حرارتی

از مهمترین مواد شیمیایی که در بی اثر کردن Co2 در آب بویلر کارایی دارند می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- آمونیاک
۲- بنزیل آمین
۳- سیکلو هگزیل آمین
۴- مورفولین

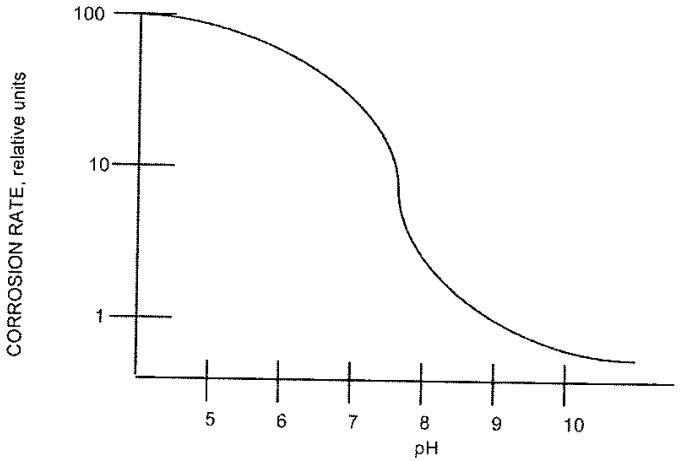
عامل انتخاب یکی از مواد فوق به ضریب تقسیم یا غلظت آن در فاز بخار بر غلظت آن در فاز بخار بر غلظت آن در فاز مایع است. این ضریب تقسیم در مورد سیکلو هگزیل‌آمین حدود ۳ و برای موروفلین حدود۰/۵ است.

مصرف بعضی از اتانل امین‌ها می‌تواند بر روی فلز بویلر یک لایه محافظتی ایجاد نماید. این لایه‌ها می‌تواند فلز بویلر را در مقابل خوردگی محافظت کند.

کنترل PH

تغییر شرایط مختلف دمایی، جریان، PH، و دیگر فاکتورها باعث تغییر نرخ خوردگی می‌گردند. در PHهای پایین افزایش هیدروژن باعث از بین رفتن لایه محافظ و جلوگیری از تشکیل آن می‌شود. بنابراین باعث خورده شدن مداوم فولاد می‌شود اما در محلول‌های قلیایی فیلم محافظ به شدت نرخ خوردگی را کاهش می‌دهد. PH مناسب آب بویلر۹/۵-۱۰/۵ است. PH آب را می‌توان با افزودن سود تنظیم نمود. گاهی پلی فسفات‌ها و کرومات‌ها را می‌توان همراه با هم به کار برد که نتیجه مطلوب‌تری خواهد داشت و خطری متوجه فلز نمی‌شود.

اگر آهن در آبی باشد که محتوی نمک طعام و به میزان محاسبه شده‌ای کرومات سدیم است بتدریج در مقابل خوردگی مصون می‌ماند زیرا کرومات با محصولات فرو حاصل از زنگ زدن آهن ترکیب می‌شود و کرومات سدیم را به محصولات فریک که خاصیت پوششی دارند تبدیل می‌کند .



شکل ۸-۲۰: تاثیر *PH* روی خوردگی

کنترل سختی باقیمانده

بدون توجه به روش نرم‌سازی آب، معمولاً مقداری سختی در آب تصفیه شده باقی می‌ماند. یکی از روشهای مرسوم برای جلوگیری از تشکیل رسوبات قلیایی خاکی افزایش فسفات می‌باشد. فسفات در محلول قلیایی کلسیم و منیزیم را به صورت یک لجن نرم پراکنده رسوب می‌دهد که این رسوب توسط زیرآب خارج می‌شود.

تری سدیم فسفات

تری سدیم فسفات با فرمول شیمیایی Na۳ PO۴ یک ترکیب شیمیائی امولسیون کننده، قلیائی قوی با pH معادل ۱۲ است و در آب براحتی قابل حل می‌باشد. همچنین به عنوان مواد نگه دارنده نیز گزینه خوبی به‌حساب می‌آید. این ماده به‌عنوان رطوبت‌گیر نیز کاربرد فراوانی دارد.

تری پلی‌فسفات سدیم

تری پلی‌فسفات سدیم یک پلیمر معدنی چند وجهی است. این پلیمر سنتزی ماده اولیه بسیار مهم برای صنایع پاک کننده به‌حساب می‌آید. علاوه‌بر صنعت آب و تصفیه آن در صنایع شوینده، کاشی سازی، و نساجی و ....کاربرد زیادی دارد. سدیم تری پلی‌فسفات دارای فرمول مولکولی Na5P3O10 با ساختمان خطی پلی‌فسفریک اسید می‌باشد.

STPPبا تشکیل کمپلکس محلول یونهای Ca و Mg آبهای سخت را نرم می‌کند، همچنین رفتار قلیایی سدیم تری پلی‌فسفات باعث افزایش تمییز کردن پودرهای شوینده می‌شود

زمانی که سختی کل آب خوراک بویلر بیش از 15-20 ppm بر حسب $CaCO_3$ است استفاده از فسفات عملی منطقی نیست زیرا آنقدر لجن تشکیل می‌شود که به طور مرتب باید زیرآب زد. تزریق بیش از اندازه فسفاتهای سدیم سبب کف‌کردن و جدا شدن گل فسفات در بویلرها و لوله‌های دیواره آن می‌گردد.

فصل ۹
زیر آب زنی

زیر آب[1]

زیرآب یا بلودان عبارت است از خارج ساختن آب اشباع شده از مواد معلق و نمک‌های محلول از دیگ بخار. آبی که به این طریق از دیگ خارج می‌گردد بوسیله آب تغذیه جدید که دارای مواد محلول کمتر است تامین می‌گردد از این رو با داشتن مقدار معین و مشخص از زیرآب می‌توان از تغلیظ موادی که باعث نارسایی کار دیگ‌ها می‌گردند جلوگیری به‌عمل آورد و مقدار مواد معلق یا محلول را بر مبنای طراحی دیگ که براساس فشار و ضریب راندمان حرارتی دیگ تدوین شده‌اند ثابت نگه داشت. جدول ۹-۱ نشان دهنده حداکثر TDS مجاز برای انواع دیگ‌های بخار در فشارهای مختلف است.

جدول۹-۱:*TDS*مجاز انواع دیگ‌های بخار

TABLE 2.1 RECOMMENDED TDS LEVELS FOR VARIOUS INDUSTRIAL PROCESS BOILERS		
	Boiler Type	Maximum TDS (ppm)*
1.	Lancashire	10,000 ppm
2.	Smoke and water tube boilers (12 kg/cm^2)	5,000 ppm
3.	Low pressure Water tube boiler	2000-3000
3.	High Pressure Water tube boiler with superheater etc.	3,000 - 3,500 ppm
4.	Package and economic boilers	3,000 ppm
5.	Coil boilers and steam generators	2000 (in the feed water

محاسبات

برای بدست آوردن بلودان می‌توان از رابطه کلی زیر استفاده نمود:

$$BD = \frac{E \times S}{C - S} \qquad (۹-۱)$$

که در آن:

E: مقدار تولید بخار بویلر[2]

S: TDS آب تغذیه[3]

1- Blowdown
2- Steam Genertion Rate
3- Amount Of Solid

C: حداکثرTDS مجاز آب بویلر[1]

تمرین:

مطلوبست محاسبه میزان زیرآب بویلری به ظرفیت ۵ تن در ساعت چنانچه:

- حد اکثر TDS مجاز بویلر ۳۰۰۰PPM باشد
- TDS آب تغذیه ۳۰۰ PPM باشد

حل:

$$BD = \frac{E \times S}{C - S}$$

$$(۵۰۰۰ \times ۳۰۰) / (۳۰۰۰ - ۳۰۰) = ۵۵۵ \ Kg/hr$$

حال چند سوال کلیدی:

۱- آیا میزان کندانس برگشتی همیشه یکسان است و در نتیجه TDS آب تغذیه بویلر همیشه یکسان است؟ آیا آب ورودی به دیگ‌خانه همیشه و در تمام فصول سال کیفیت یکسانی دارد؟

در بسیاری از موارد میزان کندانس برگشتی در طول ساعات کار بویلر برابر نمی‌باشد. برای مثال بویلر یک بیمارستان در ساعاتی که اتوکلاو و رختشوی‌خانه مشغول به کار هستند میزان کندانس کمتری دارد و در نتیجه میزان TDS آب تغذیه بالا می‌رود و در ساعاتی که آنها تعطیل هستند و مثلاً بخار صرفاً در مبدل‌ها و چیلر جذبی مورد استفاده قرار می‌گیرد و تقریباً ۱۰۰٪ بخار تولیدی کندانس می‌شود و در نتیجه TDS آب تغذیه کاهش یافته و به میزان بلودان کمتری نیاز است.

بدین منظور براساس تجربه مهندسین دیگ‌خانه می‌بایست ساعات عملکرد بویلر براساس نوع مصرف بخار دسته‌بندی کرد و سپس TDS آب تغذیه را در ساعات مختلف روز مورد تست قرار داد. سپس با دسته‌بندی اطلاعات می‌توان مقدار زیر آب مورد نیاز بویلر را در ساعات مختلف کارکرد در طول روز بدست آورد.

همچنین در مناطقی که از آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی استفاده می‌شود کیفیت آب در فصول مختلف متفاوت خواهد بود و باید مورد بررسی قرار گیرد.

۲- آیا بویلر ۵ تنی فوق همیشه در طول کل ساعات کارکرد خود ۵ تن در ساعت بخار تولید می‌کند؟

صد البته که اینطور نیست. اساساً اگر در سایتی به $۵۰۰۰ \ ^{kg}/_{hr}$ بخار احتیاج باشد دیگ ۵ تنی نصب نمی‌شود و قطعاً دیگ بزرگ‌تری نصب خواهد شد. ثانیاً دیگ‌بخار ۵ تنی صرفاً در شرایط خاصی می‌تواند $۵۰۰۰ \ ^{kg}/_{hr}$ بخار تولید کند که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

طراحی صحیح و دقیق بویلر
عملکرد پمپ به صورت دائم کار(فصل ۱۵)
دمای آب تغذیه مناسب
عدم وجود رسوب بر روی سطوح حرارتی
عملکرد دقیق مشعل

۳- حال یک اپراتور دیگ‌خانه چگونه می‌تواند تخمین نسبتاً دقیقی از میزان تولید بخار بویلر خود بزند؟

با توجه به این توضیحات در مثال فوق برای دیگ‌بخار ۵ تنی E در فرمول $۵۰۰۰ \ ^{kg}/_{hr}$ نخواهد بود. بنابراین با قراردادن عدد ۵۰۰۰ در فرمول مقدار بلودان بزرگتر از عدد حقیقی بدست خواهد آمد و

1- Concentration Of Solid Inside The Boiler

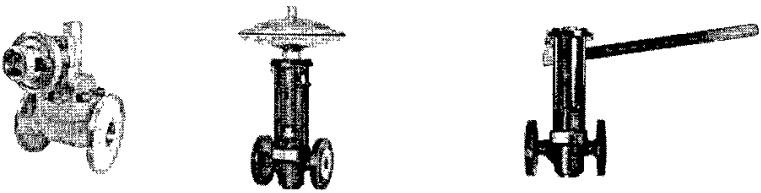
موجبات اتلاف آب و انرژی را رقم خواهد زد.

زمان تخلیه برای مثال فوق چقدر است؟یک دیگ ۵ تنی با شیر زیر آب " ۱۱/۲ برای تخلیه $\frac{kg}{hr}$ ۵۵۵ به چند ثانیه تخلیه احتاج دارد؟

دقیق‌ترین راه برای بدست آوردن زمان تخلیه توجه به نوع شیر تخلیه و مراجعه به کاتالوگ سازنده شیر تخلیه است. بدین ترتیب می‌توان دریافت با توجه به نوع شیر به چند ثانیه تخلیه احتیاج است.

انواع شیر زیر آب[1]

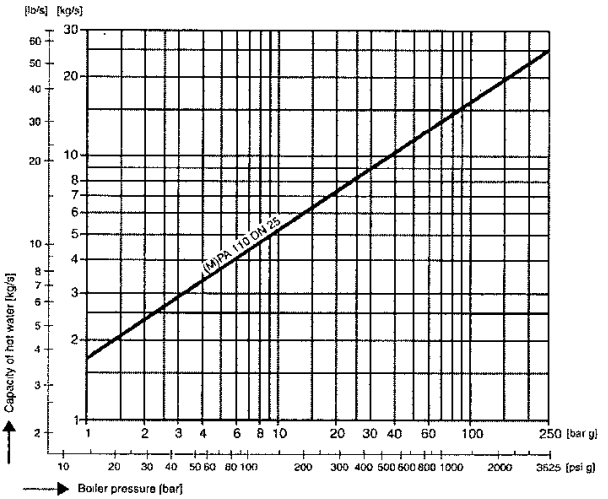
شیرهای بلودان به اشکال مختلفی تولید می‌شوند. عملکرد آنها می‌تواند به صورت دستی باشد و یا با عملگر نئوماتیکی باز و بسته شوند. در سیستم‌های بلودان پیوسته عملکرد این شیرها با موتور برقی همراه است.



شکل۹-۱:انواع شیر بلودان دیگ‌های بخار

تولیدکنندگان شیرهای بلودان جداولی را ارائه می‌دهند که به کمک آن می‌توان میزان تخلیه شیر را براساس سایز و فشار عملکرد بویلر بدست آورد.

جدول زیر مربوط به شیر زیرآب ساخت شرکت GESTRA آلمان است. که باتوجه به فشار بویلر میزان $\frac{kg}{s}$ آب تخلیه شده توسط شیر"۱ را نشان می‌دهد.



شکل۹-۲: میزان تخلیه شیر "۱ ساخت گسترا

1- Bottom Blowdown Valve

اما از آنجاییکه عموماً بر روی بویلرهای تولیدی در کشور مان از شیرهای PARALLEL SLIDE BLOW OFF VALVE استفاده می‌شود و برای آنها نمودار تخلیه در دست نیست می‌توان به کمک جدول زیر میزان بلودان با توجه به سایز محاسبه نمود.

جدول۹-۲:محاسبه زیرآب

17.6	15.8	14	12	10.5	9	7	Pressure(bar) / Size(DN)
708	653	600	545	504	463	436	DN25
1743	1635	1525	1416	1307	1198	1089	DN40
3105	2860	2669	2451	2233	2015	1852	DN50
4358	4086	3813	3541	3214	2941	2655	DN65

۴- آیا در زمان پیک مصرف بخار (FULL LOAD) می‌بایست تخلیه را انجام داد؟ مشکلات ناشی از زیر آب زنی دراین زمان چیست؟

زیرآب‌زنی بویلر موجب می‌شود سطح آب در داخل بویلر پایین بیاید و در نتیجه فرمان لِوِل‌کنترل پمپ تغذیه بویلر را روشن کرده و آب خارج شده را جبران می‌کند. اما در زمان پیک مصرف و به خصوص در بویلرهایی که با سیستم پمپ ON-OFF عمل می‌کنند به دلیل اختلاف دمای آب ورودی با آب داخل بویلر فشار افت می‌کند. (این امر در صورت صحیح عمل نکردن دی‌اریتور و پایین بودن دمای آب تغذیه به شدت تشدید خواهد شد)

که خود ۲ مشکل اساسی به‌وجود خواهد آورد.

الف)پایین آمدن کیفیت بخار تولیدی را موجب خواهد شد.(این مطلب در فصل کیفیت بخار به تفصیل مورد بررسی قرار خواهد گرفت)

ب) امکان ایجاد پدیده کاویتاسیون در پمپ تغذیه را به‌وجود می‌آورد. (این مطلب در فصل پمپ در دیگ‌خانه به تفصیل مورد بررسی قرار خواهد گرفت)

برای حل این مشکل بهترین راه حل استفاده از سیستم بلودان پیوسته برای بویلر است اما چنانچه این سیستم روی بویلر نصب نباشد می‌بایست زیرآب‌زنی با فواصل زمانی کوتاه‌تری انجام شود تا به طول زمان تخلیه کمتری احتیاج باشد و این فرآیند رخ ندهد.

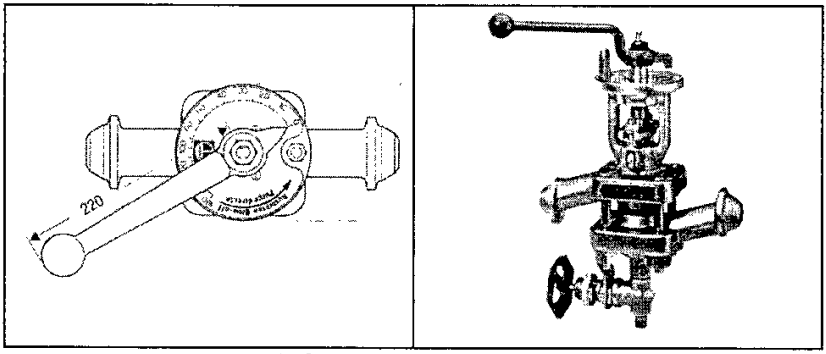
بلودان پیوسته[1]

بلودان پیوسته به ۲ شکل دستی و اتوماتیک قابل انجام است

۱- دستی

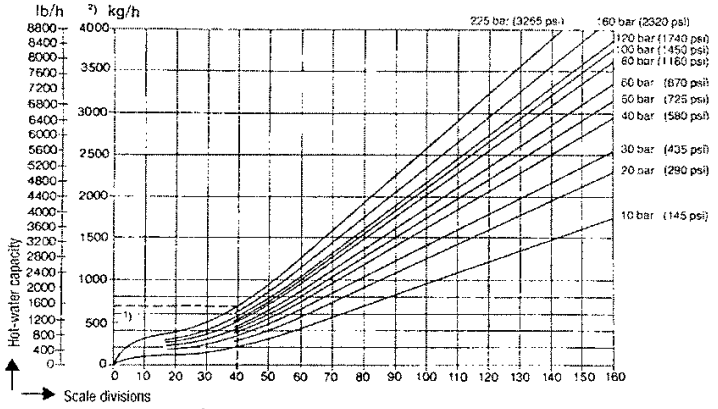
این نوع از شیرهای بلودان در میانه بویلر هم‌تراز شیرهای آبنما نصب می‌گردد. در این نوع از شیرها می‌توان میزان باز بودن شیر را براساس درجه اهرم موجود بر روی آن از ۰-۱۶۰ درجه تنظیم نمود. در قسمت تحتانی یک شیر نمونه‌برداری نصب شده که به کمک آن می‌توان نمونه‌برداری کرد.

1- Continuos Blowdown



شکل۹-۳: شیر بلودان پیوسته دستی دیگ‌های بخار

حال با مراجعه به کاتالوگ سازنده می‌توان دریافت که شیر در فشار عملکرد بویلر و درجه باز بودن آن چند کیلوگرم در ساعت آب را تخلیه میکند. سپس با توجه به TDS آب ورودی و میزان بلودان مورد نیاز شیر را با درجه مورد نیاز باز کرده و زیرآب زنی به صورت پیوسته صورت می‌گیرد.



شکل۹-۴: منحنی تخلیه شیر بلودان پیوسته دستی دیگ‌های بخار

این نوع از بلودان پیوسته برای بویلرهایی که میزان تولید بخار و کیفیت آب ورودی تقریباً در تمام ساعات کار بویلر برابر است بسیار کارا است. اما در بویلرهایی که در بعضی ساعات نیمه بار و یا ربع بار کار می‌کنند و یا TDS آب ورودی متغیر دارند می‌بایست توسط اپراتور دیگ‌خانه با تغییر درجه توسط اهرم بالای شیر میزان تخلیه را در طول ساعات کار بویلر بنابر نیاز تخلیه بویلر تغییر داد.

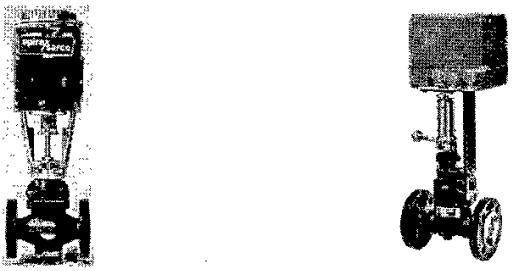
۲- اتوماتیک

اساس عملکرد این سیستم براساس هدایت آب بویلر است. این تجهیز شامل یک الکترود هدایت[1] و یک شیر با عملکرد تدریجی است.

الکترود هدایت در آب بویلر مستغرق بوده و دائماً هدایت الکتریکی آب بویلر را کنترل می‌کند و با بالا رفتن TDS و در نتیجه افزایش هدایت آب براساس عدد از پیش تنظیم شده دستور به باز شدن شیر و

1- Conductivity electrode

خروج آب از بویلر می‌دهد. شیرهای بلودان پیوسته برای دیگ‌های لوله دودی در سایزهای "½ و"¾ ساخته می‌شوند.



شکل۹-۵:انواع شیر بلودان پیوسته اتوماتیک دیگ‌های بخار

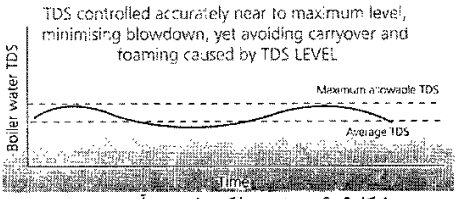
نصب این سیستم بر روی بویلر هزینه اولیه بالایی را در پی دارد اما در عین حال شامل مزایای زیادی است که از آن‌جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- دقت بالا در کنترلTDS

با توجه به سنس دائم هدایت توسط الکترودهای مستغرق در آب بویلر می‌توان اطمینان داشت که TDS آب بویلر از حد مجاز بالاتر نخواهد رفت.

۲- کاهش میزان بلودان

با توجه به دقت بالای سیستم و عملکرد تدریجی شیر فاصله حد نرمال تا حداکثر TDS فاصله کوتاهی بوده و از اتلاف آب و انرژی جلوگیری می‌شود.



شکل۹-۶:منحنی عملکرد شیر زیرآب پیوسته

۳- امکان بازیافت انرژی

با نصب تانک جداکننده بخار فلش و مبدل بازیافت انرژی می‌توان تا ۹۰٪ انرژی بلودان را بازیافت نمود.

سیستم تخلیه زمانی

در این نوع از زیر آب زنی تخلیه توسط شیر زیرآب بویلر در فواصل زمانی مشخص انجام می‌گیرید. این عمل یا به صورت دستی توسط اپراتور براساس ساعت و زمان مورد نیاز تخلیه براساس محاسباتی که پیشتر توضیح دادیم انجام می‌گیرد و یا توسط سیستم کنترل اتوماتیک براساس زمان از پیش تنظیم شده. این زمان براساس پیک عملکرد بویلر در نظر گرفته می‌شود. این فرآیند در بویلرهایی که تولید بخار در آنها در طول کل ساعات عملکرد برابر است و همچنین میزان کندانس و آب جبرانی در کل ساعات عملکرد بویلر برابر است و در نتیجه زمان و مقدار زیر آب نیز همیشه ثابت است عملکرد دقیقی دارد.

برای مثال در کارخانه‌ای که بویلر ساعات میانی روز با بار کمتری کار می‌کند و یا اصلاً کار نمی‌کند در سیستم تخلیه زمانی تخلیه بدون توجه به شرایط بویلر انجام می‌گیرد و یا در یک بیمارستان همانطور که پیش‌تر توضیح دادیم احتیاج به تقسیم ساعتی بلودان است. بدین ترتیب که براساس شیت اپراتور دیگ‌خانه میزان TDS آب ورودی به بویلر در ساعات مختلف مورد محاسبه قرار می‌گیرد سپس با توجه به شرایط عملکر بویلر به صورت ساعتی تنظیم می‌شود. برای مثال از ۶ صبح تا ۶ عصر تخلیه در هر ۳ ساعت به مدت ۴ ثانیه انجام می‌گیرد و از ۶ عصر تا ۶ صبح هر ۵ ساعت ۴ ثانیه. بدین ترتیب به میزان قابل توجهی از اتلاف آب و انرژی جلوگیری به عمل می‌آید.

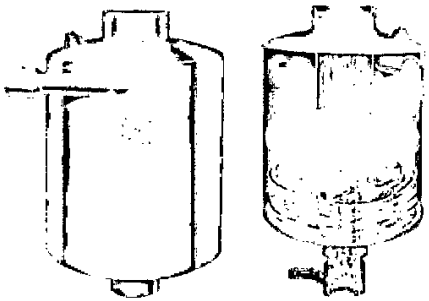
در مدل‌های مدرن این دستگاه‌ها قابلیت گزارش‌گیری نیز وجود دارد که به کمک آن می‌توان تعداد دفعات انجام بلودان و انرژی خارج شده از بویلر را محاسبه نمود.

حال که میزان بلودان را محاسبه کردیم سوال اینجا است که با آب و بخار فلش ناشی از بلودان چه باید کرد؟

۱- استفاده از بلودان سپریتور
۲- استفاده از تانک بلودان
۳- استفاده از بلودان پیت

بلودان سپریتور[1] (تانک‌فلش)

استفاده از تانک‌فلش تنها می‌تواند بر روی بویلرهای مجهز به بلودان پیوسته نصب گردد. تانک‌فلش یا بلودان‌سپریتور مخزنی است استوانه‌ای و تحت فشار که جدایش آب و بخار فلش در آن صورت می‌گیرد. آب ناشی از زیرآب از میانه تانک وارد مخزن شده و بخار فلش از آن جدا شده و به سمت بالا حرکت می‌کند.آب نیز به کمک نیروی ثقل از قسمت پایین تانک توسط تله‌بخار تخلیه می‌گردد. بدین منظور استفاده از تله‌های بخار با عملکرد مکانیکی (فلوتری و سطلی معکوس) توصیه می‌گردد. از آنجاییکه فشار در تانک‌فلش پایین است تخلیه به صورت ثقلی انجام شود.



شکل ۹-۷: شماتیک تانک جدا کننده

از آنجاییکه سایز تله‌های بخار بکار رفته در تانک‌های فلش برای جلوگیری از گرفتگی و همچنین Δp پایین بزرگ در نظر گرفته می‌شود و با توجه به آنکه امکان استفاده از صافی در بلودان نیست و TDS آب بلودان تخلیه شده به نوبهٔ خود بالا بوده و جدایش بخارفلش نیز TDS آن را بیشتر کرده است

1- Flash Vessel

می‌بایست از مرغوب‌ترین نوع تله‌بخار در این سیستم استفاده نمود.

توجیه استفاده از این سیستم در مواردی است که فشار عملکرد بویلر بالا است و در نتیجه آنتالپی آب (hf) در فشار بویلر عدد بزرگی است و به همین علت میزان بخار فلش عدد قابل توجهی است و یا چنانچهTDS آب تغذیه به دلایل مختلف مانند عدم برگشت کندانس عدد بزرگی باشد در نتیجه درصد زیرآب بویلر بالا برود.

تمرین:

چنانچه میزان تولید بخار در دیگ‌خانه‌ای $^{kg}/_{hr}$ ۲۰,۰۰۰ با فشار ۱۰Bar باشد و میزان TDS آب تغذیه ۳۰۰ppm باشد.

مطلوبست میزان بخار فلش در فشار ۱Bar چنانچه حد اکثر TDS مجاز در بویلر ۳۰۰۰ ppm باشد.

حل:

$$BD = \frac{E \times S}{C - S}$$

$$BD = \frac{۲۰۰۰۰ \times ۳۰۰}{۳۰۰۰ - ۳۰۰} = ۲۲۲۲Kg/hr$$

$$BD\% = \frac{۲۰۰۰۰}{۲۲۲۲} = ۱۱/۱۱\%$$

۲۲۲۲kg/hr × ۷۸۲

1737604KJ/hr

با مراجعه به جدول بخار اشباع:

آنتالپی اشباع آب در فشار ۱۰ bar= ۷۸۲ $^{kj}/_{kg}$

آنتالپی اشباع آب در فشار ۱ bar = ۵۰۵ $^{kj}/_{kg}$

انرژی نهان تبخیر در فشار ۱ bar= ۲۲۰۱ $^{kj}/_{kg}$

آنتالپی بخاراشباع در فشار۱ bar = ۲۷۰۶ $^{kj}/_{kg}$

اختلاف انرژی اشباع در فشار۱۰bar و۱=

۷۸۲-۵۰۵=۲۷۷ $^{kj}/_{kg}$

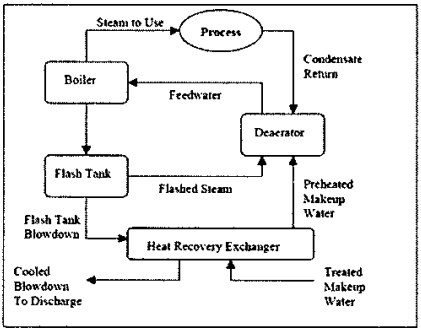
$$\frac{۲۷۷}{۲۲۰۱} = ۰/۱۲۵$$

$^{kg}/_{hr}$ ×0.125=280 $^{kg}/_{hr}$ 2222

280Kg/hr×2706KJ/KG=757680KJ/Hr

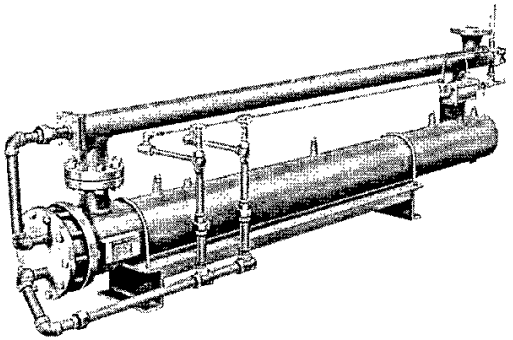
بنابراین می‌توان از بلودان با انرژی ۷۵۷۶۸۰ kj/hr، ۲۸۰ $^{kg}/_{hr}$ بخار اشباع ۱ bar بازیافت نمود.

با توجه به محاسبات انجام شده نصب تانک‌فلش برای دیگ‌خانه مثال فوق قابل توجیه است. این بخار برای استفاده در دی‌اریتور مناسب است.



شکل ۹-۸: شماتیک بازیابی انرژی بلودان

دمای آب تخلیه شده از تانک‌فلش دمای بالایی است که برای تخلیه به فاضلاب مناسب نیست بدین منظور یا از آن در Heat Recovery Exchanger استفاده می‌شود و مجدداً انرژی آن بازیافت می‌شود و آب سرد به فاضلاب تخلیه می‌گردد.که این مورد در سپریتورهای با فشار پایین امکان‌پذیر نیست. و یا به کمک شیر ترموستاتیک و تزریق آب سرد به آن دمای آب را پایین آورده و به فاضلاب تخلیه می‌گردد.



شکل ۹-۹: شماتیک مبدل بازیابی انرژی بلودان

تانک بلودان[1]

در مواردی که از بلودان سپریتور استفاده نمی‌شود برای انتقال آب بلودان به فاضلاب می‌بایست دو کار را انجام داد:

۱- خارج ساختن بخار فلش و تخلیه آن به اتمسفر

۲- پایین آوردن دمای آب جهت انتقال به فاضلاب

بدین منظور یکی از معمول‌ترین روش‌ها استفاده از تانک بلودان است.

تانک بلودان شبیه به تانک سپریتور است با این تفاوت که تحت فشار نمی‌باشد و بخار فلش از طریق ونت بالای مخزن به اتمسفر تخلیه می‌شود. همچنین برای تخلیه آب به تله‌بخار احتیاجی نیست.

برای خنک کردن زیرآب وارد شده می‌بایست همواره مقداری آب ساکن داخل تانک وجود داشته باشد. از اینرو خروجی تانک از وسط آن گرفته می‌شود .همچنین در قسمت بالای تانک نیز فضایی جهت

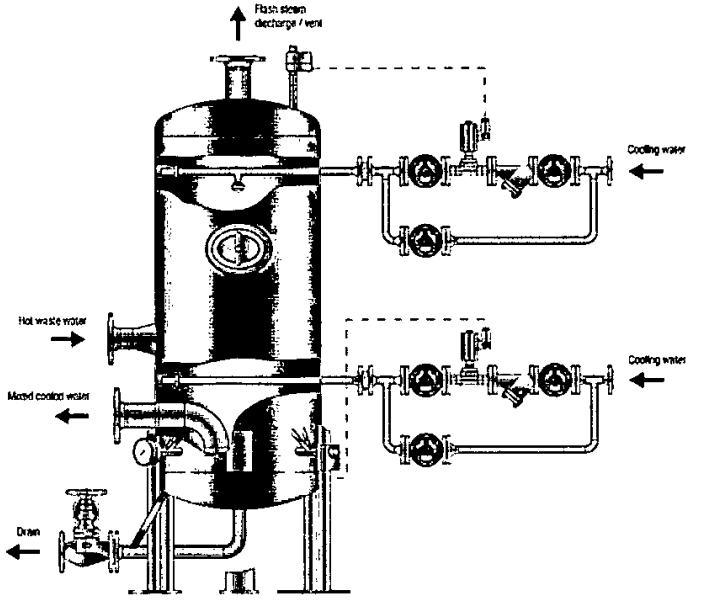
1- Blowdown vessel

بخار فلش خالی می‌ماند.

جدول حداقل سایز تانک بلودان براساس قدرت بویلر را نشان می‌دهد.

جدول۹-۳: راهنما انتخاب سایز تانک بلودان نسبت به قدرت بویلر

Boiler Rating HP	Cu. Ft.	Minimum Size Tank	Gallons
2 – 20	3.5	18" diameter x 24"	26.4
21 – 50	7.7	24" diameter x 30"	59
51 – 100	14.7	30" diameter x 36"	110
101 – 200	21.6	36" diameter x 36"	160
201 – 400	24.8	36" diameter x 42"	185
401 – 800	39.5	42" diameter x 48"	288
801 – 1000	63.0	48" diameter x 60"	470



شکل ۹-۱۰: شماتیک تانک بلودان *GESTRA*

همچنین جهت جلوگیری از بالا رفتن دمای آب می‌بایست یک یا دو مدار آب خنک‌کننده نیز به تانک متصل نمود که توسط شیر ترموستاتیک کنترل می‌شود. چنانچه دمای آب تانک بالا رود شیر به صورت خودکار باز شده و به کمک آب سرد دمای آب داخل تانک را کاهش می‌دهد.

دمای آب برای انتقال به فاضلاب حدود ۴۰ درجه سانتی‌گراد است.

سایر تجهیزات

همانطور که در شکل نشان داده شده است تانک بلودان شامل تجهیزاتی است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- دریچه منهول:جهت بازرسی
- گیج فشار:جهت نمایش فشار داخل تانک

- شیر درین:جهت تخلیه کامل مخزن در زمان خاموشی دیگ‌خانه
- شیر ترموستاتیک:جهت تزریق آب سرد به مخزن

در صورت اتصال چند بویلر به یک تانک می‌بایست زیرآب به نوبت بوده و هم زمان صورت نگیرد.همچنین می‌بایست برای هر خط زیر آب متصل به تانک یک شیر یک‌طرفه نصب گردد تا از برگشت زیر آب جلوگیری شود.

سایز تانک بلودان بستگی به سایز تخلیه بویلر (در صورتی که چند بویلر باشد بزرگترین بویلر) و فشار کاری آن دارد. همانطور که پیش‌تر توضیح دادیم بخار در فشار اتمسفر حجم زیادی را اشغال می‌کند.(هر کیلوگرم بخار در فشار اتمسفر m^3 ۱/۶۷۳است) ونت بالای مخزن باید در سایزی انتخاب شود که به هیچ عنوان فشار داخل مخزن بالا نرود. برای مثال در بویلری با فشار عملکرد 10Barg چنانچه ۲۰kg آب اشباع در مدت ۴ ثانیه تخلیه گردد ۱۶٪ از این آب در فشار اتمسفر به بخار فلش تبدیل می‌شود بنابراین خواهیم داشت:

حجم بخار فلش: $20kg\times\%16\times1.673m3/kg=5.344m3$

حجم آب : $20kg\times\%84\times0.001m3/kg=0.0168m3$

به کمک جدول ۹-۳ براساس فشار عملکرد بویلر و سایز شیربلودان می‌توان سایز ونت خروجی و سایز خروجی آب را محاسبه نمود.

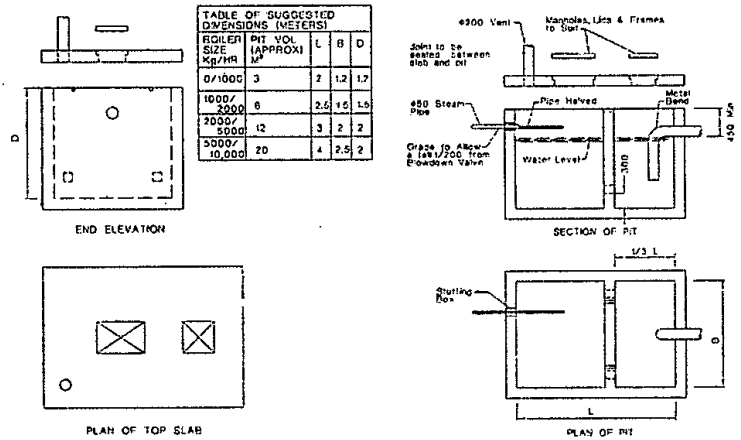
جدول ۹-۴: راهنمای انتخاب سایز ونت و سایز درین خروجی از تانک براساس فشار بویلر و سایز لوله زیرآب

Boiler Pressure PSIG	Blow-off Line Pipe Size	Vent Pipe Size	Outlet Pipe Size
100	3/4"	2-1/2"	3"
	1"	3"	3"
	1-1/4"	3-1/2"	4"
	1-1/2"	4"	5"
	2"	5"	6"
	2-1/2"	6"	6"
150	3/4"	3"	3"
	1"	3-1/2"	3-1/2"
	1-1/4"	4"	4"
	1-1/2"	5"	5"
	2"	6"	6"
	2-1/2"	8"	8"
200	3/4"	3"	3"
	1"	4"	4"
	1-1/4"	5"	5"
	1-1/2"	6"	6"
	2"	8"	8"
	2-1/2"	8"	8"
250	3/4"	3-1/2"	3"
	1"	4"	4"
	1-1/4"	5"	5"
	1-1/2"	6"	6"
	2"	8"	8"
	2-1/2"	10"	10"
300	3/4"	3-1/2"	3-1/2"
	1"	5"	5"
	1-1/4"	6"	6"
	1-1/2"	8"	8"
	2"	8"	8"
	2-1/2"	10"	10"
350	3/4"	4"	4"
	1"	5"	5"
	1-1/4"	6"	6"
	1-1/2"	8"	8"
	2"	10"	8"
	2-1/2"	10"	10"
400	3/4"	4"	4"
	1"	5"	5"
	1-1/4"	6"	6"
	1-1/2"	8"	8"
	2"	10"	8"
	2-1/2"	10"	10"

بلودان‌پیت[1]

بلودان‌پیت مخزنی است بتونی که در کف زمین ساخته می‌شود. وظیفه بلودان‌پیت مشابه تانک بلودان است با این تفاوت که مدار شیر ترموستاتیک و ورود آبسرد به داخل پیت وجود ندارد. مقدار آب موجود در پیت می‌بایست به میزانی باشد که حداکثر انرژی زیرآب تخلیه شده از بزرگترین بویلر دیگ‌خانه را جذب کند و اجازه تولید بخار فلش را ندهد. همچنین فضای خالی بالای پیت می‌بایست ۲ برابر حداکثر زیرآب تخلیه شده از بزرگترین بویلر باشد.

شکل۹-۱۱ ابعاد استاندارد بلودان‌پیت را براساس سایز بویلر نمایش می‌دهد.



شکل۹-۱۱: ابعاد و اندازه صحیح اجرای پیت

1- Blowdown Pit

فصل ۱۰
راندمان

راندمان در دیگ‌خانه شامل دوبخش است:

۱- راندمان بویلر

۲- راندمان سیستم انتقال بخار

راندمان بویلر

راندمان بویلر نسبتی است بین انرژی دریافت شده توسط بویلر از سوخت و انـرژی موجـود در بخـار و انرژی تلف شده درآن.

در بویلرهای امروزی راندمان بویلرها عددی بین ۶۵-۸۵ ٪ است. برای محاسبه رانـدمان بـویلر دو راه وجود دارد:

۱- روش مستقیم

۲- روش غیرمستقیم

روش مستقیم

معمول‌ترین روش در محاسبه راندمان بویلر تقسیم انرژی تولیدی در بخار بویلر بـر انـرژی ورودی بـه آن است.

$$\text{Boiler Efficiency},\eta = \frac{Heat\ output}{Heat\ input} \times 100$$

که طبق رابطه ۱۰-۱ قابل محاسبه است

$$Boiler\ Efficiency = \frac{\text{Steam flow rate x (steam enthalpy} - \text{feed water enthalpy)}}{\text{Fuel firing rate x Gross calorific value}}\ x\ 100 \qquad (۱۰-۱)$$

که در آن:

STEAM FLOW RATE: میزان بخار تولیدی

STEAM ENTHALPY: آنتالپی بخار خروجی

WATER ENTHALPY: آنتالپی آب تغذیه

FUEL FIRING RATE: میزان سوخت مصرفی
GROSS CALORIFICE VALUE: ارزش حرارتی سوخت مصرفی

❖ واحد ترم‌های موجود در فرمول می‌بایست برابر باشد یا همگی در سیستم SI و یا همگی در سیستم انگلیسی.

همچنین از تقسیم میزان بخار تولیدی بر میزان سوخت مصرفی، نسبت تبخیر نیز قابل محاسبه است:

$$\text{Evaporation Ratio} = \frac{Quantity\ of\ steam}{Quantity\ of\ fuel} \qquad (۲-۱۰)$$

اندازه‌گیری در روش مستقیم انرژی ورودی

برای محاسبه دقیق انرژی می‌بایست میزان دقیق مصرف سوخت مشعل را در مدت زمان عملکرد مورد محاسبه قرار دهیم. سپس با ضرب این میزان در ارزش حرارتی سوخت کل انرژی بدست می‌آید.

در اینجا ذکر این نکته بجاست که کیفیت سوخت و مشعل تاثیر به سزایی در احتراق کامل سوخت و در نتیجه استفاده کامل از انرژی سوخت دارد. در غیر این صورت احتراق ناقص بخش زیادی از انرژی را بی‌استفاده از بین خواهد برد.

جدول ۱۰-۱ ارزش گرمایی سوخت‌های متداول را نشان می‌دهد.

جدول۱۰-۱: انرژی سوخت‌های متداول در سیستم انگلیسی

Approximate Heating Value of Common Fuels

Natural Gas	1,030 Btu/cu ft	100,000 Btu/therm
Propane	2,500 Btu/cu ft	92,500 Btu/gal
Methane	1,000 Btu/cu ft	
Landfill gas	500 Btu/cu ft	
Butane	3,200 Btu/cu ft	130,000 Btu/gal
Methanol		57,000 Btu/gal
Ethanol		76,000 Btu/gal
Fuel Oil		
Kerosene	135,000 Btu/gal	
#2	138,500 Btu/gal	
#4	145,000 Btu/gal	
#6	153,000 Btu/gal	
Waste oil	125,000 Btu/gal	
Biodiesel – Waste vegetable oil	120,000 Btu/gal	
Gasoline	125,000 Btu/gal	

گرمای خروجی

برای محاسبه گرمای خروجی به دستگاه کالری متر و کنتورهای دقیق بخار نیاز است که با توجه به فشار و حجم و انرژی موجود در بخار کیفیت آن را مورد محاسبه قرار دهد.

اما از آنجاییکه در اکثر دیگ‌خانه‌ها چنین تجهیزاتی وجود ندارد می‌توان با نصب کنتور قبل یا بعد از پمپ تغذیه حجم آب تزریق شده به بویلر را بدست آورد.سپس می‌توان از ضرب این حجم در چگالی آب در دمای آب تغذیه، وزن آب تزریق شده به بویلر را بدست آورد. میزان بخار تولیدی از کسر وزن بلودان از آب ورودی بدست می‌آید.

اما از آنجاییکه بدست آوردن وزن دقیق بلودان عملی نیست توصیه می‌شود در طول مدت زمان

آزمایش زیر آب زنی صورت نگیرد.

از آنجاییکه انرژی تولیدی بویلر از وزن بدست آمده از بخار تولیدی با فرض بخار ۱۰۰٪ خشک محاسبه می شود و هیچ بویلری بخار ۱۰۰٪ خشک تولید نمی‌کند فلذا انرژی تولیدی محاسبه شده در بویلر را می‌بایست با خشکی بخار ۹۵-۹۰٪ در نظر گرفت.

مزایا و معایب محاسبه راندمان به روش مستقیم

مزایا:

۱. قابلیت انجام محاسبات با سرعت برای اپراتورهای دیگ‌خانه
۲. احتیاج به پارامترهای کم تعداد
۳. احتیاج به ابزارهای کم تعداد

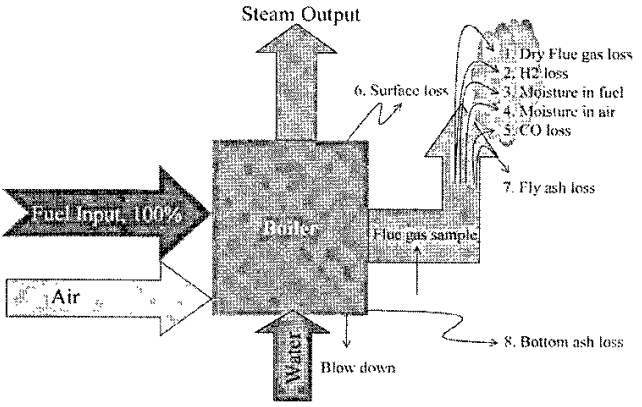
معایب:

۱. عدم مشخص کردن علت پایین بودن راندمان احتمالی
۲. نا مشخص بودن اتلاف انرژی در بخش‌های مختلف
۳. عدم اطلاع از میزان دقیق خشکی بخار برای محاسبه انرژی تولیدی

روش غیر مستقیم

در این روش راندمان واقعی حرارتی بویلر با تفاضل کل حرارت اتلاف شده از کل انرژی سوخت بدست می‌آید.

کل اتلاف صورت گرفته-۱۰۰=راندمان حرارتی بویلر٪



Efficiency = 100 – (1+2+3+4+5+6+7+8) (by Indirect Method)

شکل۱۰-۱: شماتیک انرژی ورودی و اتلافی بویلر

کل تلفات صورت گرفته در بویلر شامل موارد زیر است:

۱- اتلاف توسط اگزوز شامل:

- اتلاف به علت گاز خشک
- اتلاف به علت هیدروژن در سوخت

- اتلاف به علت رطوبت در سوخت
- اتلاف به علت رطوبت در هوا
- اتلاف به علت مونواکسید کربن

۲- اتلاف در اثر تشعشع از بدنه بویلر
۳- اتلاف در بویلر با سوخت جامد شامل:

- ذغال نسوخته در خاکستر خروجی
- ذغال نسوخته در خاکستر باقیمانده

برای محاسبه راندمان در این روش احتیاج است تا پارامترهای زیر اندازه‌گیری شود:
الف)تجزیه و تحلیل دودکش‌ها شامل
۱- درصد CO_2 یا O_2 در گاز خروجی اگزوز بویلر
۲- درصد CO در گاز خروجی اگزوز بویلر
۳- درجه حرارت گاز اگزور بویلر
ب)تجزیه و تحلیل با فلومتر و کنتور جهت:
۱- سوخت
۲- بخار
۳- آب تغذیه
۴- کندانس
۵- هوای احتراق
ج) تجهیزات اندازه‌گیری دما جهت:
۱- گاز خروجی اگزوز
۲- بخار
۳- آب جبرانی
۴- کندانس
۵- هوای احتراق
۶- آب تغذیه
د)تجهیزات اندازه‌گیری فشار جهت:
۱- بخار
۲- سوخت
۳- هوای احتراق (اولیه و ثانویه)
۴- درافت
هـ)تجهیزات اندازه‌گیری آب جهت:
۱- TDS
۲- pH
۳- زیرآب
جدول تجهیزات قابل بکارگیری برای این محاسبات را نشان می‌دهد

محاسبات

۱- اتلاف بابت گاز خشک در اگزوز

$$L_1 = \frac{mxC_p x(T_f - T_a)}{GCV\ of\ fuel} x۱۰۰ \qquad (۳-۱۰)$$

که در آن:

L1: اتلاف بابت گاز خشک در اگزوز(٪)

M: میزان گاز خشک براساس (Kg/Kg) سوخت مصرفی

Cp: گرمای‌ویژه گاز دودکش

Tf: دمای گاز دود کش (سانتی‌گراد)

Ta: دمای محیط (سانتی‌گراد)

۲- اتلاف بابت از دست دادن حرارت به واسطه تبخیر آب و تشکیل*H2* در سوخت

$$L_2 = \frac{9xH_2x\{۵۸۴ + C_p(T_f - T_a)\}}{GCV\ of\ fuel} x۱۰۰ \qquad (۴-۱۰)$$

که در آن:

L2: اتلاف بابت از دست دادن حرارت به واسطه تبخیر (٪)

H2: Kg هیدروژن موجود در یک کیلوگرم سوخت

Cp: گرمای‌ویژه بخار سوپرهیت

Tf: دمای گازدودکش (سانتی‌گراد)

Ta: دمای محیط(سانتی‌گراد)

584: گرمای‌نهان مربوط به فشار جزئی بخار

۳- اتلاف بابت وجود رطوبت در سوخت

$$L_3 = \frac{Mx\{۵۸۴ + C_p(T_f - T_a)\}}{GCV\ of\ fuel} x۱۰۰ \qquad (۵-۱۰)$$

که در آن:

L3: اتلاف بابت وجود رطوبت در سوخت(٪)

M: Kg رطوبت موجود در یک Kg سوخت مصرفی

Cp: گرمای‌ویژه بخار سوپرهیت

Tf: دمای گازدودکش (سانتی‌گراد)

Ta: دمای محیط(سانتی‌گراد)

۴- اتلاف بابت رطوبت در هوا

رطوبت موجود در هوا با دمیدن فن مشعل به داخل بویلر به بخار تبدیل شده و دمای آن بالا رفته به بخار سوپرهیت تبدیل می‌شود. به همین واسطه مقداری از انرژی را تلف خواهد کرد.

وزن رطوبت موجود دریک Kg هوا را با توجه به دما و رطوبت نسبی می‌توان به کمک جدول ۱۰-۲ استخراج نمود:

جدول ۱۰-۲: محاسبه وزن آب موجود در هوا با توجه به دما و رطوبت نسبی

Dry-Bulb Temp °C	Wet Bulb Temp°C	Relative Humidity (%)	Kilogram water per Kilogram dry air (Humidity Factor)
20	20	100	0.016
20	14	50	0.008
30	22	50	0.014
40	30	50	0.024

سپس به کمک رابطه ۱۰-۶ می‌توان آنرا محاسبه نمود:

$$L_۴ = \frac{AASx\text{humidity factor}\ xC_p\ x\ (T_f - T_a)}{GCV\ of\ fuel} x۱۰۰ \qquad (۶-۱۰)$$

L4: اتلاف بابت رطوبت در هوا٪

AAs: جرم واقعی هوا به ازاء یک Kg سوخت

Humidity factor: محاسبه از جدول

Cp: گرمای‌ویژه بخار سوپرهیت

Tf: دمای گاز دودکش (سانتی‌گراد)

Ta: دمای محیط(سانتی‌گراد)

۵- اتلاف به علت احتراق ناقص: یکی از مهمترین عوامل در احتراق ناقص، نقص در مشعل است.

$$L_۵ = \frac{\%CO\ x\ C}{\%CO + \%CO_۲} x \frac{۵۷۴۴}{GCV\ of\ fuel} x۱۰۰ \qquad (۷-۱۰)$$

L5: اتلاف به علت احتراق ناقص٪

Co: حجم واقعی Co2 در گاز احتراق٪

C: Kg کربن موجود در یک Kg سوخت

۶- اتلاف بابت تبادل تشعشعی حرارت بدنه بویلر و محیط اطراف

در یک بویلر با عایق کاری مناسب در دیگ‌خانه عموماً نیازی به محاسبه اتلاف نیست و آنرا طبق جدول زیر در نظر می‌گیریم.

For industrial fire tube / packaged boiler = 1.5 to 2.5%
For industrial watertube boiler = 2 to 3%
For power station boiler = 0.4 to 1%

اما چنانچه بویلر در فضای باز نصب شده باشد. به کمک فرمول زیر می‌توان آنرا به صورت دقیق مورد محاسبه قرار داد.

$$L_۶ = ۰/۵۴۸ \times \left[(T_s/۵۵/۵۵)^۴ - (T_a/۵۵/۵۵)^۴ \right] + ۱/۹۵۷ \times (T_s - T_a)^{۱/۲۵} \times sq.rt\ of \left[(۱۹۶/۸۵V_m + ۶۸/۹)/۶۸/۹ \right] \qquad (۸-۱۰)$$

که در آن:

L6: اتلاف تشعشعی حرارت w/m2

Vm: سرعت باد در محل نصب بویلر

Ts: دمای سطح(سانتی‌گراد)

Ta: دمای محیط(سانتی‌گراد)

۷- اتلاف بابت خاکستر خارج شده از اگزوز در اثر سوخت ناقص در بویلر با سوخت جامد

$$L_7 = \frac{\text{Total ash collected / kg of fuel burnt x G.C.V of fly ash}}{\text{GCV of fuel}} x\,100 \qquad (۹-۱۰)$$

۸- اتلاف بابت خاکستر باقیمانده در اثر سوخت ناقص در بویلر با سوخت جامد

$$L_8 = \frac{\text{Total ash collected / kg of fuel burnt x G.C.V of bottom ash}}{\text{GCV of fuel}} x\,100 \qquad (۱۰-۱۰)$$

تمرین:

مطلوبست محاسبه راندمان بویلر با سوخت مایع چنانچه اطلاعات زیر در دست باشد:

کربن٪	۸۴
هیدروژن ٪	۱۲
نیتروژن ٪	۰,۵
اکسیژن ٪	۱,۵
سولفور ٪	۱,۵
رطوبت ٪	۰,۵
ارزش حرارتی سوخت kCal/kg	۱۰۰۰۰
رنج مصرف سوختkg/hr	۲۶۴۸,۱۲۵
دمای بدنه بویلر °F	۸۰
سطح بویلر m^2	۹۰
رطوبت هوا(kg/kg)	۰,۰۲۵
سرعت باد m/s	۳,۸
دمای گاز خروجی(سانتی‌گراد)	۱۹۰
دمای محیط (سانتی‌گراد)	۳۰
حجم Co2	۱۰,۸
حجم O2	۷,۴

حل:

Flue gas analysis (%)

Flue gas temperature =190° C دمای گازهای

خروجی

Ambient temperature =30° C دمای محیط

Co2 % in flue gas by volume =10.8 حجمCO2

O2% in flue gas by volume =7.4 حجمo2

الف) هوای مورد نیاز

[(11.6xC)+{34.8X(H2-O2/8)}+(4.35xS)]/100 kg /kg of fuel .[from fuel analysis]

=[(11.6x84)+[{34.8x(12-1.5/8)}+ (4.35x1.5)]/100

=13.92 kg/kg of oil

ب)درصد هوای تأمین شده

$$=\frac{۲\%}{۲۱-۰۲\%}\times۱۰۰\left[\text{from flue gas analysis}\right]$$

$$\frac{VA}{۲۱-VA}\times۱۰۰=۵۴٫۴\%$$

ج)مقدار واقعی سوخت

={1+EA/100}x13.92

=21.49 kg /kg of fouel

Mass of dry flue gas =mass of (CO_2+SO_2+N_2+O_2) in flue gas + N_2 in air we are we are supplying .

Mass of dry flue gas =Mass of dry flue gas =

$$\frac{۰٫۸۴\times۴۴}{۱۲}+\frac{۰٫۰۱۵\times۶۴}{۳۲}+۰٫۰۰۵+\frac{VA\times۲۳}{۱۰۰}+\frac{VA\times۲۳}{۱۰۰}+\frac{۲۱A۰\times VV}{۱۰۰}$$

21.36 kg /kg of oil

درصد تلفات به علت گاز خشک

%heat loss in dry flue gas =

$$\frac{m\times Cp\times(Tf-Ta)}{GCV\text{ of fuel}}\times۱۰۰=\frac{۲۱٫۳۶\times۰٫۲۳\times(۱۹۰-۳۰)}{۱۰۰۰۰}\times۱۰۰$$

L1=7.68%

درصد تلفات به علت رطوبت در سوخت

Heat loss due to evaporation of water due to H2 in flue

$$(\%)=\frac{۸\times H۲\times(۵۸۴+Cp(Tf-Ta))}{GCV\text{ of fuel}}$$

%heat loss due to moisture in fuel

$$=\frac{۹\times۰٫۱۲\times(۵۸۴+۰٫۴۵(۱۹۰-۳۰))}{۱۰۰۰۰}\times۱۰۰$$

=L2=7.08%

$$\frac{M\times(۵۸۴+CP(Tf-Ta))}{CGV\text{ of fuel}}\times۱۰۰=\frac{۰٫۰۰۵\times(۵۸۴+۰٫۴۵(۱۹۰-۳۰))}{۱۰۰۰۰}\times۱۰۰=L3=0.033\%$$

درصد تلفات به علت رطوبت در هوا

%heat loss due to moisture in air =

$$= \frac{AAs \times humidity\ factor \times cp \times (tf - ta)}{GCV\ of\ fuel} \times ۱۰۰ = \frac{۲۱٫۳۶ \times ۰٫۰۲۵ \times ۰٫۴۵ \times (۱۹۰ - ۳۰)}{۱۰۰۰۰} \times ۱۰۰$$

L4=0/38%

درصد تلفات به علت تشعشع از بدنه بویلی

Radiation and convection loss $=0.584x[(ts/55.55)^4-(ta/55.55)^4]+1.957x(ts-ta)^{1.25}$x sq.rt of [196.85 Vm + 68.9)/68.9]

$=0.548x\ [(353/55.55)^4-(303/55.55)^4]+1.957 \times (353-303)^{1.25}$xsq.rt of [(196.85 x 3.8 + 68.9)/68.9]

$=1303 w/m^2$

$=1303 \times 0.86$

Total radiation and convection loss per hour $=1120.58\ kcal/m^2$

$1120.58x90\ m^2$

$=100852.2$ kcal

$$\%radiation\ and\ convection\ loss = \frac{۱۰۰۸۵۲۲}{۱۰۰۰۰ \times ۲۶۴۸٫۱۲۵} \times ۱۰۰$$

L6=0.38%

Normally it is assumed as 0.5 to 1% for simplicity

راندمان بویلر به روش غیر مستقیم

Boiler efficiency by indirect method

=100-(L1+L2+L3+L4+L6)

=100-(7.86+7.08+0.033+0.38+038)

=84.27%

چگونه راندمان دیگ‌خانه را افزایش دهیم؟[۱]

حال سوال اینجاست که چگونه می‌توان راندمان دیگ‌خانه را بالا برد و آنرا بالا نگاه داشت؟بدین منظور می‌بایست اولاً راندمان بویلر را بالا برده و بالا نگه داریم و ثانیاً در سیستم توزیع بخار و بازگشت کندانس از اتلاف انرژی شامل موارد زیر جلوگیری کنیم.

- سطوح حرارتی
- بکارگیری تجهیزات بازیابی انرژی
- جلوگیری از نشت بخار
- عایق کاری مناسب
- جلوگیری از چرخه کوتاه
- سرویس مشعل

سطوح حرارتی

پاکیزه نگه داشتن سطوح حرارتی بویلر یکی از مهمترین عوامل در بالا بردن راندمان است. وجود رسوب بر روی این سطوح مانند یک عایق عمل کرده و روند انتقال حرارت را دچار مشکل می‌کند. جدول ۱۰-۳ نشان می‌دهدکه درصد اتلاف سوخت براساس ضخامت رسوب به چه میزان است.

۱- محاسبات صورت گرفته در محاسبه قیمت در معادلات پیشرو همگی براساس قیمت واقعی انرژی در جهان در زمان تالیف کتاب (۱۳۹۲) از سایت مرجع BLOOMBERG صورت گرفته است.

جدول۱۰-۳ :درصد اتلاف سوخت نسبت به ضخامت رسوب

Scale Thickness (Inches)	Additional Fuel Usage (Percentage)
1/32	8.5%
1/25	9.3%
1/20	11.1%
1/16	12.4%
1/8	25.0%
1/4	40.0%
3/8	55.0%
1/2	70.0%

حال چنانچه به هر دلیل بویلر دچار رسوب شد چه باید کرد؟
بهترین راه حل برای رفع این مشکل شستشوی شیمیایی بویلر(اسید شویی) است.

اسید شویی

بویلرهای بخار عمدتاً از جنس فولادهای کربنی ساخته می‌شوند که سطح داخلی این فلزات که با آب در تماس است می‌بایست بدون رسوبات ناخواسته باشد. رسوبات دارای هدایت حرارتی پایین‌تری نسبت به فلزات هستند که باعث بالا رفتن دمای فلز در سمت دیواره احتراق می‌گردد. بنابراین سوخت بیشتری برای تولید بخار نیاز می‌شود. (ضریب انتقال حرارت کاهش می‌یابد)

بخار در دمای بالا با یون آهن واکنش داده و تشکیل یک لایه یکنواخت از اکسید آهن fe3o4 که به مگنتیت معروف است را می‌دهد. در یک اتمسفر کاهنده در دمای بالای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد آب به عنوان یک ماده اکسیدکننده عمل کرده و واکنش الکتروشیمیایی شکل گرفته و باعث تشکیل لایه‌ای از مگنتیت می‌گردد. لایه مگنتیت ایجاد شده تیره رنگ، نازک و به شدت چسبنده می‌باشد که به عنوان لایه پسیو در سطح فولاد از ادامه خوردگی سطح جلوگیری می‌نماید. تشکیل این لایه مگنتیت در بویلرهای بخار یک مزیت محسوب می‌شود که در شرایط ایده ال سطوح سمت دیواره آبی این فلزات با این فیلم نازک پوشش داده می‌شوند. گرچه با گذشت زمان لایه مگنتیت رشد کرده و متخلخل و یا حتی شکسته و جدا می‌گردد. پس به صورت موضعی این لایه رسوب به شدت ضخیم می‌شود. بعلاوه تاثیر منفی بر روی انتقال حرارت گذاشته و همچنین غیریکنواختی ضخامت رسوب باعث چسبیدن دیگر رسوبات نمکی ناخواسته مانند کربنات کلسیم می‌شود. زمانی که راندمان بویلر بسیار کم می‌شود و یا انسداد و یا سوراخ شدن در لوله‌ها اتفاق می‌افتد ، معمولاً تصمیم به تمیزکاری بویلر می‌نمایند. این کار معمولاً با بریدن چند لوله از قسمتهایی که انتظار بیشتری در تجمع رسوب در آن مناطق وجود دارد صورت می‌پذیرد. پس از بررسی‌های گسترده متالورژیکی نمونه لوله به همراه رسوب مربوطه جهت تمیزکاری یا اصطلاحاً فرایند اسیدشویی مورد تست قرار می‌گیرد. جهت انجام پروسه مناسب در جهت اسیدشویی دانستن میزان رسوبات در واحد سطح از مقدمات فرایند می‌باشد. مراحل به صورت زیر انجام می‌پذیرد:

۱) چربی گیری
۲) اسیدشویی با مخلوطی از اسیدHF وhcl
۳) پسیو کردن با استفاده از سیترات آمونیوم و یک معرف اکسیدکننده

در طول پروسه اسید شویی که با چرخش اسیدکلریدریک و فلوریدریک گرم صورت می‌گیرد، لایه

مگنتیت با اسید واکنش می‌دهد. بنابراین غلظت آهن در محلول شوینده افزایش خواهد یافت، چرا که مگنتیت را در خود حل می‌کند. برای محافظت از فولاد لخت شده در مقابل اثر اسید، یک محافظت کننده اسیدی به آن اضافه می‌شود. این محافظت کننده اسیدی نرخ خوردگی را تا ۵۰mpy کاهش می‌دهد. مقدار آهن موجود در محلول شوینده در حقیقت پارامتری از نتیجه اسیدشویی و اینکه اسیدشویی به چه شکل انجام شده می‌باشد. هنگامی که مقدار آهن در محلول ثابت ماند تمام مگنتیت حل شده و مرحله اسیدشویی پایان یافته است.

بعد از مرحله اسیدشویی سطح فولاد واکنش پذیر و مرطوب خواهد بود و اکسیژن باعث تشکیل اکسید خواهد شد. در حقیقت آخرین مرحله از تمیزکاری بویلر زدودن این زنگ آهن و ایجاد یک لایه فیلم اکسید آهن پسیو می‌باشد. برای زدودن این زنگ آهن در ابتدا از یک محلول اسید سیتریک استفاده می‌شود. سپس اسید سیتریک با آمونیاک خنثی شده و تشکیل سیترات آمونیاک با یک ph قلیایی می‌شود. معمولاً آهن حل شده به شکل هیدروکسید رسوب خواهد کرد. اما به دلیل تمایل شدید سیترات آمونیوم به تشکیل کمپلکس، آهن به صورت محلول باقی می‌ماند. یک معرف اکسیژن زای قوی به سیترات آمونیوم برای فعال سازی یونهای فرو برای اکسیدشدن و بنابراین تبدیل آهن فلزی به حالت فریک یکنواخت اضافه می‌شود. این عمل باعث پدیدارشدن یک لایه نازک، پسیو و چسبنده اکسید آهن fe2o3 می‌شود.

بازیابی انرژی

بازیابی انرژی در بویلرهای بخار شامل ۳ بخش اصلی است:

۱- بازیابی انرژی از گازهای احتراق

۲- بازیابی انرژی از کندانس

۳- بازیابی انرژی از بلودان

بازیابی انرژی از گازهای احتراق

اکونومایزر[1]

اکونومایزرها به نوعی مبدل حرارتی شبیه هستند که معمولاً روی اگزوز بویلر نصب می‌شوند. به کمک اکونومایزرها می‌توان آب تغذیه بویلر و یا هوای احتراق را مورد پیش گرم قرار داد.

حال سوال اینجاست که برای جلوگیری از اتلاف حرارتی توسط اگزوز چرا اندازه سطوح حرارتی بویلر را بزرگ‌تر نمی‌سازند و از اکونومایزر استفاده می‌کنند؟

در یک بویلر صنعتی با فشار ۱۰ اتمسفر دمای بخار اشباع تولید شده حدود ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد است. برای انتقال حرارت از سطوح حرارتی بویلر به آب و بخار می‌بایست اختلاف دمایی بین این دو وجود داشته باشد. اختلاف دمای موثر برای این امر حداقل ۳۰ درجه سانتگیراد است. چنانچه این اختلاف دما کمتر شود به سطح بزرگ‌تری برای انتقال دما نیاز است. بنابراین چنانچه بخواهیم دمای سطوح حرارتی را به ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد نزدیک کنیم احتیاج به سطح بسیار وسیعی خواهیم داشت و در نتیجه قیمت بویلر به‌شدت افزایش یافته و ابعاد آن نیز به‌شدت بزرگ خواهد شد.

اما در اکونومایزرها اختلاف دمای موثر بین آب مورد پیش گرم و دمای اگزوز حداقل ۱۵۰ درجه

1- Economizer

سانتی‌گراد است. بنابراین می‌توان با سطح کمتری انتقال حرارت موثرتری را به‌وجود آورد. از دیگر مزایای اکونومایزرها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- بازیافت انرژی تا ۵٪ و در نتیجه کاهش مصرف سوخت
۲- عدم پیچیدگی در کاربری
۳- عمر طولانی
۴- هزینه تعمیر و نگهداری ناچیز

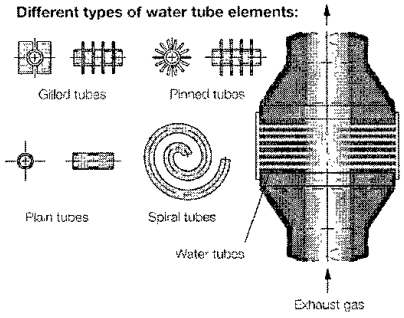
پیش گرم‌کن‌های هوای احتراق

چنانچه سوخت دارای ارزش حرارتی پایینی باشد و یا بویلر با سوخت جامد کار کند که احتمال وجود رطوبت در سوخت جامد وجود دارد برای خشک کردن سوخت قبل از احتراق و تضمین ثبات شعله هوای گرم مورد نیاز است. بهترین راه برای گرم کردن هوای احتراق استفاده از جریان گازهای داغ خود بویلر است. در این اکونومایزرها جریان گازها می‌تواند داخل و یا خارج لوله‌های اکونومایزر باشد. چنانچه جریان گازها حاوی خاکستر و یا گرد و غبار باشد در این صورت ترجیح داده می‌شود تا از داخل لوله‌ها عبور کند تا موجب رسوب گرفتگی جداره نگردد زیرا تمیز کاری جداره‌ها مشکل‌تر است. هوا نیز از مسیرهای متعدد بین لول‌ها عبور داده خواهد شد. این نوع از اکونومایزرها در بویلرهای لوله آبی کاربرد بیشتری دارند.

پیش گرم کن‌های آب تغذیه

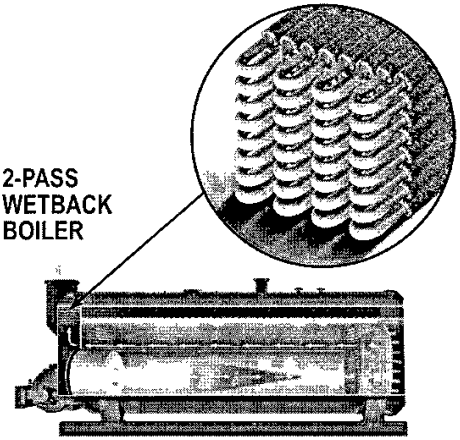
این نوع اکونومایزر یک مبدل حرارتی لوله آبی است که به کمک گازهای ناشی از احتراق، آب تغذیه بویلر را مورد پیش گرم قرار می‌دهد. در بویلرهای با ظرفیت کمتر از ۴۰,۰۰۰ پوند بر ساعت معمولاً اکونومایزرها را به صورت دایره‌ای می‌سازند.

اکونومایزرها را می‌توان از لوله‌های صاف و یا پره‌دار ساخت. سرعت حرکت آب در داخل لوله‌ها باید بین ۱-۲/۵ متر بر ثانیه باشد. شکل ۱۰-۲ انواع آنها را نشان می‌دهد.



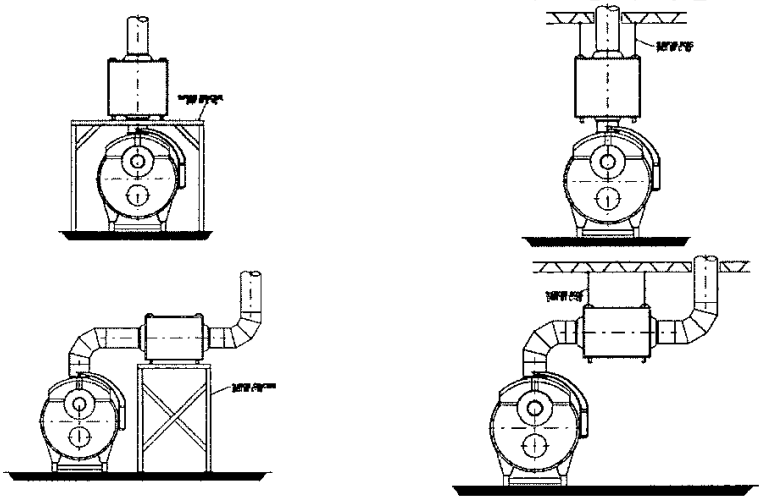
شکل ۱۰-۲: شماتیک انواع اکونومایزر

نصب اکونومایزرها می‌تواند به صورت داخلی و یا خارجی باشد. در نوع داخلی کارخانه سازنده در زمان ساخت بویلر آنرا در داخل بویلر قرار داده است. (شکل ۱۰-۳)



شکل۱۰-۳: شماتیک اکونومایزر داخلی

در نوع خارجی اکونومایزر بعداً در داخل دیگ‌خانه یا به صورت افقی و یا به صورت عمودی بر روی اگزوز نصب می‌گردد. (شکل۱۰-۴)



شکل۱۰-۴: شماتیک انواع نصب اکونومایزر

نکته:

جهت جلوگیری از خوردگی ناشی از دمای پایین گازها می‌بایست نهایت دقت را به عمل آورد تا دما همواره بالاتر از دمای نقطه شبنم اسید باشد.

علت اصلی این خوردگی نقطه شبنم اسیدی است و این نوع خوردگی شامل کندانس‌های بخار اسیدی است که عمده آن اسید سولفوریک است که بر سطح ماده حمله می‌کند اسید در دمای پایین‌تر از نقطه شبنم کندانس می‌شود. در گازهای خروجی طی عملیات احتراق بویلرگازهایSO_2 و SO_3 تشکیل

می‌شود. تشکیل اسید سولفوریک به تعادل میان‌تری اکسید گوگرد و بخار آب و H2SO4 در گازهای خروجی بستگی دارد :

SO3 + H2O ® H2SO4

پایین‌ترآمدن دما از نقطه شبنم باعث می‌شود این اسید کندانس شود. نقطه شبنم‌های بالاتر که با افزایش میزان اسید سولفوریک رخ می‌دهند باعث مشکلات بیشتری می‌شوند زیرا در این صورت اسید در دمای بالاتری کندانس می‌شود که در بهره‌برداری معمول ریکاوری بویلر این شرایط به راحتی بدست می‌آید. نقطه شبنم اسیداز نقطه شبنم آب بالاتر است در دمای بین نقطه شبنم اسید سولفوریک و آب ممکن است اسید کلریدریک موجود در گازها کندانس شوند که از کلریدهای ریکاوری بویلر منشا می‌گیرد. NaCl می‌تواند با SO2 و به صورت زیر واکنش دهد:

NaCl (g)+ H2O +SO2 +1/2 O2® Na2SO4(g) +2 HCl↑

کندانس شدن اسید کلریدریک باعث شتاب بخشیدن به روند خوردگی در دماهای پایین‌تر می‌شود. در دماهای پایین‌تر ممکن است کندانس آب باعث عرق کردن و گسترده شدن خوردگی گردد .

گازهای خروجی که میزان H2SO4 آنها زیادتر است دمای نقطه شبنم بالاتری دارند و احتمال خوردگی را افزایش می‌دهند. بالاتر بودن غلظت H2O و SO3 باعث افزایش تولید H2SO4 می‌شود و بنابراین نقطه شبنم افزایش می‌یابد. نقطه شبنم به فشار H2O و SO3 از طریق معادله ورهوف بستگی دارد.

بازیابی انرژی کندانس

بازیابی انرژی کندانس شامل استفاده از بخار فلش ایجاد شده از کندانس در فشار پایین‌تر است. همچنین هرچقدر بتوانیم کندانس بیشتری را به چرخه تولید بخار برگردانیم دمای آب تغذیه بالا رفته و همچنین در هزینه‌های تصفیه صرفه‌جویی می‌شود. (این مطلب در فصل ۱۴به طور مفصل توضیح داده خواهد شد)

جدول۱۰-۴: درصد بخار فلش ایجاد شده در فشارهای مختلف

High-Pressure Condensate, psig	Percent of Condensate Flashed, lb steam/lb condensate			
	Low-Pressure Steam, psig			
	50	30	15	5
200	10.4	12.8	15.2	17.3
150	7.8	10.3	12.7	14.9
100	4.6	7.1	9.6	11.8
75	2.5	5.1	7.6	9.9

بازیابی انرژی بلودان

یکی از مهم‌ترین مسائل در اتلاف انرژی بویلر بلودان یا زیرآب است. بلودان بنابه شرایط بویلر و رژیم شیمیایی آب تغذیه معمولاً عددی بین ۱-۱۵٪ است. البته این بدان معنا نیست که دیگ‌بخار به ظرفیت تولید ۵۰۰۰ کیلوگرم در ساعت با فشار ۱۰ اتمسفر با بلودان ۵٪ به انرژی‌ای معادل ۲۵۰ کیلوگرم بخار با فشار ۱۰ اتمسفر را تلف می‌کند. زیرا بلودان صورت گرفته از آب اشباع در فشار بویلر است و انرژی آن به مراتب کمتر از بخار اشباع در همان فشار است.(به علت بالا بودن گرمای‌نهان تبخیر آب)

اما همین انرژی نیز مقدار زیادی است که به‌کمک رابطه ۱۰-۱۱ می‌توان آنرا محاسبه نمود.

$$Eb= WATER\ ENTHALPY \times BLOWDOWN\ RATE \qquad (۱-۱۱)$$

که در آن:

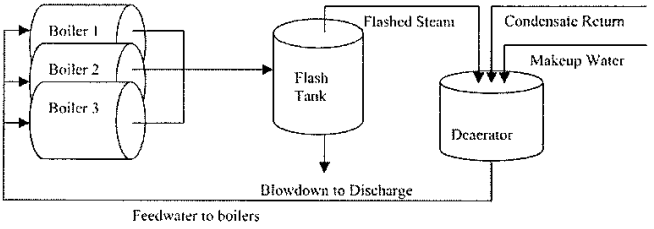
Eb: انرژی بلودان KJ یا BTU

WATER ENTHALPY: آنتالپی آب در فشار بویلر $^{kj}/_{kg}$ یا $^{Btu}/_{Lb}$

BLOWDOWNRATE: میزان بلوان Kg یا Lb

این انرژی را به چند صورت می‌توان بازیابی نمود.

اول استفاده از بخار فلش و نصب تانک جداکننده که مستلزم نصب سیستم تخلیه پیوسته است.



شکل۱۰-۵: شماتیک نصب تانک‌فلش بر روی بلودان با سیستم پیوسته

که این سیستم توامان میزان بلودان را نیز کاهش می‌دهد. با این کاهش بلودان در مصرف آب و انرژی ومواد شیمیایی و... نیز صرفه‌جویی خواهد شد.

جدول۱۰-۵: صرفه‌جویی با کاهش بلودان

Savings Through Installation of Automatic Blowdown-Control System			
Blowdown Reduction (pounds/hour)	Annual Savings ($)		
	Fuel	Water and Chemicals	Total
1,000	14,925	4,200	19,125
2,000	29,850	8,400	38,250
4,000	59,695	16,800	76,495

جدول ۱۰-۵ صرفه‌جویی با بلودان پیوسته را بر پایه مفروضات زیر نشان می‌دهد:

فشار بخار ۱۵۰ psi

راندمان بویلر۸۲ ٪

دما آب ورودی ۶۰°F

هزینه سوختMMBTU/$4.5

هزینه تصفیه آب و مواد شیمیایی وفاضلاب و پرسنلی$0.004 در هر گالن

دوم استفاده از مبدل حرارتی جهت بازیابی حرارت بلودان است. سوم استفاده توامان از هر دو سیستم که می‌تواند تا ۹۰٪ راندمان بازیافت انرژی را بالا ببرد. که این سیستم معمولاً در دیگ‌خانه‌های بزرگ و با بلودان پیوسته بیش از ۵٪ نصب می‌شود.

جدول ۱۰-۶ میزان انرژی بازیافت شده بر حسب MMBTU در دیگ‌خانه‌ای با تولید ۱۰۰,۰۰۰ پوند بر ساعت نسبت به درصد بلودان انجام شده و با فرض راندمان ۹۰٪ سیستم بازیافت و دمای آب

ورودی۱۵/۵ درجه سانتی‌گراد معادل ۶۰ درجه فارنهایت را نشان می‌دهد.

جدول۱۰-۶: انرژی بازیابی شده از بلودان

Recoverable Heat from Boiler Blowdown					
Blowndown Rate, % Boiler feedwater	Heat Recovered, Million Btu per hour (MBtu/hr)				
	Boiler Operating Pressure, psig				
	50	100	150	250	300
2	0.45	0.5	0.55	0.65	0.65
4	0.9	1.0	1.1	1.3	1.3
6	1.3	1.5	1.7	1.9	2.0
8	1.7	2.0	2.2	2.6	2.7
10	2.2	2.5	2.8	3.2	3.3
20	4.4	5.0	5.6	6.4	6.6

تمرین:

مطلوبست میزان صرفه‌جویی در هزینه دیگ‌خانه‌ای با سوخت گاز طبیعی و با ۶٪ بلودان در صورت نصب سیستم بازیابی انرژی با راندمان ۹۰٪ چنانچه:

- راندمان بویلرها ۸۲٪ باشد
- میزان بخار تولیدی آن ۵۰,۰۰۰ پوند بر ساعت با فشار psi۱۵۰باشد
- ساعات کارکرد سالانه دیگ‌خانه معادل ۸۰۰۰ ساعت باشد

حل:

با توجه به جدول فوق با فشارpsi۱۵۰ و بلودان ۶٪ میزان بازیابی انرژی۱٫۶۷MMBTU با تولید ۱۰۰,۰۰۰ پوند بر ساعت بخار است. که برای مثال فوق به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{۱٫۶۷\,\mathrm{MMBtu/hr}\times\left(\frac{۵۰۰۰۰\,\mathrm{lb/hr}}{۱۰۰۰۰۰\,\mathrm{lb/hr}}\right)\times ۸۰۰۰\,\mathrm{hr/year}}{۰٫۸۲}=۸۱۴۶\,\mathrm{MMBtu/Year}$$

قیمت گاز طبیعی در ژوئیه۲۰۱۳ برابر4$/MMBTU معادل ۱۰۰,۰۰۰ریال
(منبع: BLOOMBERG)

۸۱۴۶×۴=۳۲۵۸۴$

همانطور که از محاسبات مشخص است به قیمت سوخت در ژوئیه ۲۰۱۳ و قیمت ارز معادل ۲۵,۰۰۰ریال مبلغی معادل۸۱۴,۶۰۰,۰۰۰ ریال سالانه در مصرف سوخت صرفه‌جویی می‌شود.

اما در دیگ‌خانه‌های کوچک که امکان نصب سیستم فوق نمی‌باشد می‌توان با زمان‌بندی دقیق، میزان بلودان بویلر را کاهش داد تا هم در هزینه سوخت و هم در سایر هزینه‌ها صرفه‌جویی شود.

تمرین:

چنانچه دردیگ‌خانه‌ای با نصب سیستم بلودان اتوماتیک بتوانیم ۲٪ میزان بلودان را کاهش دهیم و

آن را از۸٪ به ۶٪ برسانیم مطلوبست میزان صرفه‌جویی در مصرف سوخت چنانچه:

- میزان تولید بخار ۱۰۰۰۰ lb/hr با فشار۱۵۰psiباشد
- دمای آب ورودی ۶۰ درجه فارنهایت باشد(۲۸BTU/lb)
- راندمان بویلر ۸۰٪ باشد
- قیمت گاز طبیعی4$/MMBTU باشد
- ساعت کار دیگ‌خانه سالانه ۸۷۶۰ ساعت باشد

حل:

آب جبرانی با ۸٪ زیرآب برابر است با:

$$۱۰۰۰۰\ Lb/(۱-۰/۰۶) = ۱۰۶۳۸$$

آب جبرانی با ۸٪ زیرآب برابر است با:

$$۱۰۰۰۰\ Lb/(۱-۰/۰۸) = ۱۰۸۶۹$$

میزان آب صرفه‌جویی شده برابر است با:

$$۱۰۸۶۹-۱۰۶۳۸ = ۲۳۱\ Lb/hr$$

اختلاف آنتالپی آب اشباع در ۱۵۰psi با آنتالپی آب ۶۰ درجه فارنهایت برابر است با:

$$۳۳۸/۵-۲۸ = ۳۱۰/۵Btu/hr$$

میزان انرژی صرفه‌جویی شده در سال برابر است با:

$$\frac{۲۳۱\,lb/hr \times ۳۱۰/۵\,Btu/lb \times ۸۷۶۰\,hr/year \times ۴\,\$/MMBtu}{۰/۸ \times ۱۰۰۰۰۰۰\,Btu/MMBtu} = ۳۱۴۱\$$$

بنابراین تنها با تنظیم دقیق سیستم بلودان می‌توان به میزان زیادی در مصرف انرژی صرفه‌جویی کرد.

جلوگیری از نشت بخار

نشتی بخار علاوه بر آنکه بسیار خطرناک است و می‌تواند موجب صدمه دیدن پرسنل دیگ‌خانه شود (حتماً در زمان استفاده از کتری سوزش شدید ناشی از بخار کتری را احساس کرده‌اید) باعث اتلاف انرژی خواهد بود.

نشتی بخار عموماً در ساقه شیرها، فلنچ‌ها، شیرهای کنترل و تله‌بخارهای معیوب اتفاق می‌افتد. این نشتی بخار در دیگ‌خانه رطوبت محیط دیگ‌خانه را به شدت افزایش می‌دهد و همین عامل باعث ایجاد شبنم در تابلوهای برق شده و می‌تواند عمر تجهیزات را کاهش دهد.

اما مهم‌ترین ضرر نشتی بخار اتلاف آب و انرژی است. حال سوال اینجاست که نشتی بخار را چگونه پیدا کنیم؟

نشتی‌های بزرگ را می‌توان با چشم غیر مسلح رویت نمود و برای نشتی‌های کوچک نیز می‌بایست از دستگاه‌های اولتراسونیک کمک گرفت. برای بازدید عملکرد صحیح تله‌های بخار نیز چند راه حل وجود دارد.

۱- بازرسی از طریق دیدن: این روش بیشتر زمانی به کار برده می‌شود که تخلیهٔ کندانس مستقیماً به اتمسفر صورت گیرد. در این روش تشخیص بخار زنده خیلی مهم است. بخار فلاش شده کندانس از لوله خارج شده و هنگام خروج از لوله همانند ابر سفیدی اطراف لوله را در بر می‌گیرد. در صورتی که بخار زنده مثل هوا و گازهای غیرقابل میعان، بدون رنگ بوده و نسبت به بخار فلاش شده با سرعت و دمای

بالاتری خارج می‌شود.

۲- بازرسی ازطریق اندازه‌گیری دما: اساس این روش اندازه‌گیری اختلاف دما در دو طرف تله‌بخار است. در این روش دمای بخار برابر با دمای اشباع در فشار بخار ورودی در نظر گرفته شده و با فرض اتلاف دما به میزان ۱۰ درصد، دمای سطح لوله در جلوی تله‌بخار مشخص می‌گردد. اگر عبور سیال از تله‌بخار یک فرآیند خفگی شود با مشخص بودن فشار در سمت خروجی، دمای سطح لوله به دست می‌آید. اختلاف دما برای یک تله‌بخار سالم در فشارهای متفاوت در جداولی تعیین شده است. اگر اختلاف دمای اندازه‌گیری شده با اختلاف دمای ارائه شده در جداول مربوطه تفاوت زیادی داشته باشد نشان دهندهٔ عدم کارکرد مناسب تله‌بخار می‌باشد.

۳- بازرسی از طریق شنیدن صدا: این روش در مورد تله‌های بخاری به کار برده می‌شود که به صورت متناوب باز و بسته می‌شوند مثلاً در مورد تله‌های بخار ترمودینامیکی عمل باز و بسته شدن شیر تخلیه که توسط حرکت دیسک انجام می‌شود، قابل شنیدن است. اگرتله‌بخار به صورت سریع باز و بسته شود یا صدای عبور بخار بدون صدای حرکت دیسک شنیده شود، نشان دهندهٔ خرابی تله‌بخار است.

میزان دبی بخار عبوری از یک اریفیس از رابطه کلی ۱۰-۱۲ محاسبه می‌شود:

$$m = \rho \times A \times V = \rho \times V \times \frac{\pi d^2}{4} \qquad (۱۰-۱۲)$$

که در آن:

V :سرعت عبور بخار

d :قطر اریفیس

ρ :چگالی بخار

m :دبی بخار عبوری

با توجه به اینکه سطح مقطع عبور جریان در تله‌های بخار سوراخ مدور می‌باشد، سرعت عبور بخار از رابطهٔ مربوط به اریفیس‌ها به صورت زیر تخمین زده می‌شود.

$$V = C\sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \qquad (۱۰-۱۳)$$

که در آن:

ΔP: اختلاف فشار در دو طرف سطح مقطع

C: ضریب تخلیه

با جایگزین کردن رابطهٔ (۱۰-۱۲) در رابطهٔ (۱۰-۱۳) فرمول محاسبهٔ میزان اتلاف بخار از یک تله‌بخار به‌شکل رابطه ۱۰-۱۴به‌دست می‌آید.

$$m = \rho \times C\sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \times \frac{\pi d^2}{4} \qquad (۱۰-۱۴)$$

همچنین می‌توان به کمک جدول ۱۰-۷ میزان اتلاف بخار را براساس سایز اریفیس با تقریب مناسب بدست آورد.

جدول۱۰-۷: اتلاف بخار به اتمسفر در فشارهای مختلف

Orifice Diameter (Inches)		STEAM FLOW (LBS./HOUR) when gauge pressure is: 2 PSIG	5 PSIG	10 PSIG	15 PSIG	25 PSIG	50 PSIG	75 PSIG	100 PSIG	125 PSIG	150 PSIG	200 PSIG	250 PSIG
1/32"	0.03125"	0.40	0.47	0.58	0.70	0.94	1.53	2.12	2.72	3.31	3.90	5.09	6.27
1/16"	0.0625"	1.58	1.86	2.34	2.81	3.76	6.13	8.49	10.86	13.22	15.59	20.33	25.06
3/32"	0.09375"	3.56	4.20	5.26	6.33	8.46	13.76	19.11	24.44	29.76	35.09	45.74	56.39
1/8"	0.125"	6.32	7.46	9.35	11.25	15.03	24.50	33.97	43.44	52.91	62.38	81.32	100.25
5/32"	0.15625"	9.88	11.66	14.62	17.57	23.49	38.29	53.08	67.89	82.67	97.47	127.06	156.65
3/16"	0.1875"	14.23	16.78	21.05	25.31	33.83	55.13	76.44	97.74	119.05	140.35	182.96	225.57
7/32"	0.21875"	19.37	22.85	28.65	34.45	46.04	75.04	104.04	133.04	162.04	191.03	249.03	307.03
1/4"	0.250"	25.29	29.84	37.41	44.99	60.14	98.01	135.89	173.76	211.64	249.51	325.26	401.01
9/32"	0.28125"	32.01	37.77	47.35	56.94	76.11	124.05	171.99	219.92	267.86	315.79	411.66	507.53
5/16"	0.3125"	39.52	46.62	58.46	70.30	93.97	153.15	212.33	271.51	330.69	389.87	508.25	626.59
11/32"	0.34375"	47.82	56.42	70.74	85.06	113.70	185.31	256.92	328.52	400.13	471.74	614.96	758.17
3/8"	0.375"	56.91	67.14	84.16	101.23	135.31	220.53	305.75	390.97	476.19	561.41	731.84	902.28
13/32"	0.40625"	66.79	78.79	98.80	118.80	158.81	258.82	358.83	458.85	558.85	658.87	858.90	1,058.93
7/16"	0.4375"	77.46	91.36	114.58	137.78	184.18	300.17	416.16	532.15	648.15	764.14	996.12	1,228.10
15/32"	0.46875"	88.93	104.88	131.54	158.17	211.43	344.56	477.74	610.89	744.04	877.20	1,143.50	1,409.80
1/2"	0.500"	101.18	119.36	149.68	179.98	240.56	392.06	543.56	695.06	846.56	998.06	1,301.06	1,604.06

محاسبه هزینه

هزینه تلف شده ناشی از نشت بخار را می‌توان به کمک رابطه ۱۰-۱۵ محاسبه نمود

$$Q = \frac{L \times H \times E \times C \times ۱۰^{-۶}}{BE} \qquad (۱۵-۱۰)$$

که در آن:

Q: هزینه تلف شده

L: بخار هدر رفته(lb/hr)

H: ساعت کارکرد

E: آنتالپی BTU/lb

C: قیمت انرژیMMBTU

BE: راندمان بویلر

تمرین:

مطلوبست هزینه تلف شده در سایتی باراندمان ۷۵٪ چنانچه فشار بخار ۱۵۰Ppsi و از۳۰ تله‌بخار نصب شده بر روی خطوط بخار با اریفیس ۱/۸ تعداد ۱۰ مورد معیوب باشد و ساعات کار کرد سالانه ۸۰۰۰ ساعت باشد.

(قیمت گاز طبیعی در ژوئیه۲۰۱۳ 4$/MMBTU معادل ۱۰۰,۰۰۰ریال باشد)

حل:

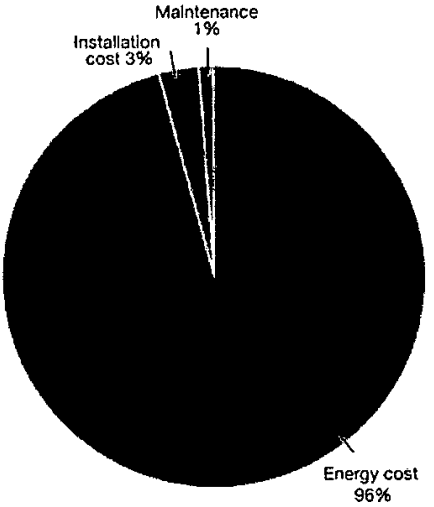
با مراجعه به جدول۱۰-۷ میزان بخار تلف شده ۶۲/۳۸Lbs/hrخواهد بود

$Q=(۶۲/۳۸\times۱۰\times۸۰۰۰\times۱۱۹۵\times۴)/(۰/۷۵\times۱۰۰۰۰۰۰)=۳۱۸۰۵$ \$/year

هزینه‌های تولید بخار

سوخت

اساساً انرژی بیشترین سهم را در هزینه چرخه عمر[1] (LCC) یک دیگ‌خانه دارد هزینه چرخه عمر به صورت "ارزیابی تجمعی هزینه‌های یک بویلر در طول دوره عمر آن" معرفی می‌گردد. دوره عمر یک بویلر مدت زمان بین خرید بویلر تا خارج شدن از بهره‌برداری و اسقاط آن است. اهداف اصلی هزینه یابی چرخه عمر عبارتند از: ارزیابی مؤثرتر شرایط و گزینه‌های سرمایه‌گذاری، در نظر گرفتن تأثیرات تمامی هزینه‌ها به‌جای هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه به‌ویژه هزینه‌های انرژی و تعمیر و نگهداری، امکان مقایسه بهتر و در نتیجه تصمیم‌گیری مناسب‌تر بین گزینه‌های رقابتی و همچنین پشتیبانی از مدیریت مؤثر سرمایه‌گذاری‌ها در طول چرخه عمر بویلر. بنابراین ویژگی کلی هزینه چرخه عمر، ایجاد یک ارتباط روشن بین تصمیمات سرمایه‌گذاری، هزینه‌های تعمیر و نگهداری و ایمنی در حین بهره‌برداری و اندازه‌گیری هزینه‌های کلی تحویل یک بویلر از مرحله تولید تا مصرف و نصب و بکارگیری تا کنار گذاشته شدن و ارزش اسقاط است. شکل ۱۰-۶ درصد هزینه ساخت و نگهداری و سوخت یک دیگ‌خانه را با عمری بیش از ۲۰ سال را نمایش می‌دهد.



شکل۱۰-۶: هزینه چرخه عمر دیگ‌خانه با عمر ۲۰ سال

همانطور که مشخص است در هزینه چرخه عمر انرژی ۹۶٪ از هزینه‌های چرخه‌عمر را پوشش می‌دهد. درکشور ما بعد از فاز دوم هدفمندی یارانه‌ها و افزایش قیمت سوخت این موضوع برای فعالان صنعت بخار و صاحبان صنایع کاملاً ملموس است. بنابراین می‌توان اطمینان داشت که تامین اعتبار برای بالا بردن راندمان دیگ‌خانه نه تنها هزینه نیست بلکه یک سرمایه گزاری کاملاً سودآور است.

1. LCC(Life Cycle Cost)

فشار بخار

هرچه فشار بخار تولیدی کمتر باشد،بالطبع آنتالپی تولید بخار نیز کمتر خواهد بود در نتیجه بـه انـرژی کمتری نیاز است. اما این بدان معنا نیست که چنانچه فشار بویلر را پایین بیاوریم از هزینه‌های تولید بخـار کاسته خواهد شد. همانطور که پیش‌تر توضیح دادیم بخار را می‌بایست با بیشترین فشار ممکن تولید و بـا کمترین فشار ممکن مصرف نمود.

کندانس برگشتی

هرچه میزان کندانس برگشتی بزرگتر باشد در نتیجه دمای آب تغذیه بالاتر رفته و در کاهش هزینه‌هـا موثر خواهد بود.

جدول۱۰-۱۰: انرژی مورد نیاز تولید بخار در فشار و دمای آب ورودی مختلف

Table 1. Energy Required to Produce One Pound of Saturated Steam, Btu*					
Operating Pressure, psig	Feedwater Temperature, °F				
	50	100	150	200	250
150	1,178	1,128	1,078	1,028	977
450	1,187	1,137	1,087	1,037	986
600	1,184	1,134	1,084	1,034	984

راندمان

چنانچه بویلر راندمان پایینی داشته باشد هرچه قدر هم در سایر آیتم‌ها مراتب را رعایـت کنـیم هزینـه تولید بخار افزایش خواهد یافت.

به کمک رابطه۱۰-۱۶ می‌توان هزینه تولید ۱۰۰۰ پوند بر ساعت یا ۴۵۳/۵ کیلوگرم در سـاعت بخـار را محاسبه نمود:

$$S_c = \frac{a_F \times (H_g - h_f)}{۱۰۰۰ \times \eta_b} \qquad (۱۰-۱۶)$$

که در آن:

S_c: هزینه تولید بخار

a_F: هزینه سوخت $/MMBTU یا$/KJ

η: راندمان بویلر

H_g: آنتالپی بخار BTU/Lb یا KJ/Kg

h_f: آنتالپی آب تغذیهBTU/Lb یا KJ/Kg

آنتالپی آب تغذیه

آنتالپی آب تغذیه از نسبت مجموع آب کندانس و آب جبرانی به‌دسـت مـی‌آیـد کـه بـه‌کمـک رابطـه ۱۰-۱۷ قابل محاسبه است.

$$hf = \%(GR) + \%(LP) + \%(MP) + \%(HP) + \%(MW) \qquad (۱۰-۱۷)$$

که در آن :

GR: کندانس با فشار اتمسفر

LP: کندانس با فشار۱psi-۱۵
MP: کندانس با فشار۱۶psi-۹۹
HP: کندانس با فشار بیش از ۱۰۰ psi
MW: آب جبرانی

تمرین

مطلوبست هزینه تولید بخار برای بویلری با فشار کاری ۱۰۰psiچنانچه:
راندمان بویلر ۸۰ ٪ باشد.
و میزان کندانس برگشتی به شرح زیر باشد:

نوع کندانس	٪	آنتالپی(BTU/Lb)
GR: کندانس با فشار اتمسفر	۶۰	۱۸۰
LP: کندانس با فشار۱psi-۱۵	۲۰	۲۰۸
MP: کندانس با فشار۱۶psi-۹۹	۰	۰
HP: کندانس با فشاربیش از ۱۰۰ psi	۰	۰
MW:آب جبرانی	۲۰	۲۰

قیمت گاز طبیعی در ژوئیه۲۰۱۳ 4$/MMBTU معادل ۱۰۰,۰۰ریال باشد.[۱]

حل:

محاسبه آنتالپی آب تغذیه

۰/۶×۱۸۰+۲۰۸×۰/۲+۰/۲×۲۰=۱۵۵/۲BTU/Lb

آنتالپی بخار در ۱۰۰ psi برابراست با ۱۱۹۰ BTU/Lb

Sc =(۴×(۱۱۹۰-۱۵۵/۲))/(۰/۸×۱۰۰۰)=۵/۱۷

هزینه تولید ۱۰۰۰ پوند بخار۱۰۰psiبا گاز طبیعی و بویلری با راندمان۸۰٪ برابر است با۵/۱۷$

تمرین

مطلوبست هزینه تولید بخار برای بویلر فوق چنانچه راندمان بویلر ۷۰٪ باشد

حل:

Sc =(۴×(۱۱۹۰-۱۵۵/۲))/(۰/۷×۱۰۰۰)=۵/۹۱

هزینه تولید ۱۰۰۰ پوند بخار۱۰۰psiبا گاز طبیعی و بویلری با راندمان۷۰٪ برابر است با۵/۹۱$

همانطور که مشخص است راندمان تاثیر به سزایی در قیمت بخار دارد. با تغییر۱۰٪ در راندمان۱۴/۲۹٪ هزینه تولید بخار افزایش پیدا می‌کند. به کمک جدول۱۰-۱۱ می‌توان میزان دقیق افزایش قیمت تولید بخار را نسبت به کاهش راندمان بویلر محاسبه نمود.

۱- منبع BLOOMBERG

جدول۱۰-۱۱: نسبت تغییر راندمان به افزایش بها

	80	81	82	83	84	85	86	87
70	14.29%	15.71%	17.14%	18.57%	20.00%	21.43%	22.86%	24.29%
71	12.68%	14.08%	15.49%	16.90%	18.31%	19.72%	21.13%	22.54%
72	11.11%	12.50%	13.89%	15.28%	16.67%	18.06%	19.44%	20.83%
73	09.59%	10.96%	12.33%	13.70%	15.07%	16.44%	17.81%	19.18%
74	08.11%	09.46%	10.81%	12.16%	13.51%	14.86%	16.22%	17.57%
75	06.67%	08.00%	09.33%	10.67%	12.00%	13.33%	14.67%	16.00%
76	05.26%	06.58%	07.89%	09.21%	10.53%	11.84%	13.16%	14.47%
77	03.90%	05.19%	06.49%	07.79%	09.09%	10.39%	11.69%	12.99%
78	02.56%	03.85%	05.13%	06.41%	07.69%	08.97%	10.26%	11.54%
79	01.27%	02.53%	03.80%	05.06%	06.33%	07.59%	08.86%	10.13%
80		01.25%	02.50%	03.75%	05.00%	06.25%	07.50%	08.75%
81			01.23%	02.47%	03.70%	04.94%	06.17%	07.41%
82				01.22%	02.44%	03.66%	04.88%	06.10%
83					01.20%	02.41%	03.61%	04.82%
84						01.19%	02.38%	03.57%
85							01.18%	02.35%
86								01.16%

اما قیمت محاسبه شده در رابطه فوق هزینه نهایی تولید بخار نیست و می‌بایست هزینه‌های بکارگیری بخار شامل :

- برق
- مواد شیمیایی
- آب و فاضلاب
- پرسنلی
- نگهداری
- دفع زباله

را نیز به آن افزود.

عموماً قیمت نهایی تولید بخار ۱/۵-۲ برابر قیمت بدست آمده در رابطه فوق است.

با قیمت روز انرژی در دنیا در دیگ‌خانه‌ای با راندمان ۸۰٪ قیمت تولید بخار ۱۰۰psi عددی حدود۸$ به ازاء هر ۱۰۰۰ پوند است.

فصل ۱۱
کیفیت بخار

کیفیت بخار

حال که تمامی مراحل تصفیه بیرونی و درونی آب بویلر را تشریح کردیم می‌بایست به کیفیت بخار تولیدی نیز اهمیت دهیم. از عوامل پایین آورنده کیفیت بخار می‌توان به‌وجود آب در بخار و وجود هوا در بخار اشاره نمود.

بخار مرطوب[1]

بخار به دو شکل می‌تواند حاوی رطوبت باشد. اول آبی که همراه با بخار از بویلر خارج می‌شود و دوم آب ناشی از کندانس که در خطوط انتقال بخار به‌وجود می‌آید.

آب خارج شده با بخار از بویلر

آب خارج شده با بخار از بویلر دارای TDS بالایی است و برای مثال در یک بویلر با فشار BAR ۱۰ حدود PPM ۳۵۰۰ است که آثار مخربی را روی تله‌های بخار، شیرآلات، مبدل‌ها و شیرهای کنترل به‌جا می‌گذارد.

عوامل مرطوب شدن بخار تولیدی در بویلر به قرار زیر است:

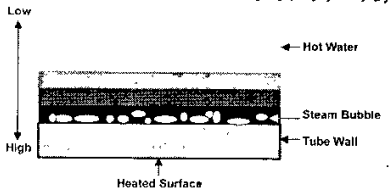
۱- عملکرد سیستم پمپ تغذیه به صورت ON-OFF
۲- افت فشار تولید بخار
۳- تغییر سریع مصرف(بزرگ‌تر بودن نیاز سیستم از توان بویلر)
۴- افزایش TDS و آلکالینیتی
۵- طراحی نامناسب بویلر و بالا بودن سطح آب در آن

عملکردسیستم پمپ به صورت ON-OFF

آب در داخل بویلر دارای فشار است و در نتیجه در دمای بالاتری نسبت به فشار اتمسفر به بخار

1- Wet Steam

تبدیل می‌شود. این آب در بویلر گرداگرد سطوح حرارتی قرار دارد. بدین ترتیب حباب‌های بخار روی این سطوح تشکیل شده و به سطح آب در بویلر رسیده و سپس همراه با بخار بویلر را ترک می‌کنند. به دلیل دمای بالای سطوح حرارتی حباب‌های تشکیل شده با درجهٔ کمی سوپرهیت است که در طول این مسیر به بخار اشباع تبدیل شده و از بویلر خارج می‌شود.



شکل ۱۱-۱: شماتیک تشکیل حباب‌های بخار گرداگرد محیط حرارتی

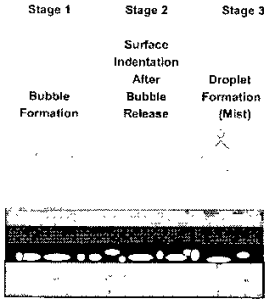
حال زمانی که پمپ به روش استارت استاپ عمل می‌کند[1] پمپ براساس فرمان لول‌کنترل‌های بویلر آب را به داخل بویلر تزریق می‌کند و نه براساس میزان تولید بخار بویلر. به همین دلیل در زمان استارت پمپ، به دلیل اختلاف دمای آب تغذیه و آب بویلر(چنانچه دی‌اریتور صحیح عمل نکند و آب تغذیه دمای پایینی داشته باشد این موضوع تشدید می‌شود) شوک حرارتی ایجاد می‌شود و می‌تواند مسبب چند اتفاق شود:

۱- حباب‌های تشکیل شده روی سطوح حرارتی در طول مسیر حرکت تا سطح آب بویلر به دلیل اختلاف دما دچار کندانس شده و در هنگام خروج از سطح آب مقداری آب را با خود به داخل سیستم می‌برند.

۲- در مواردی که فشار کاری بویلر پایین باشد و یا پمپ بزرگتر از نیاز بویلر باشد و یا زیرآب زنی غیر اصولی صورت گیرد و در نتیجه پمپ به یک باره حجم زیادی از آب را به داخل بویلر پمپاژ کند حباب‌های بخار تشکیل شده همگی کندانس می‌شود. در نتیجه برای مدتی تولید بخار به شدت کم شده و یا اصلاً متوقف می‌شود. همین امر سبب افت فشار در بویلر می‌شود.

افت فشار تولید بخار

همانطور که گفتیم حباب‌های بخار تولید شده گرداگرد سطوح حرارتی به سطح آب بویلر رسیده و سپس وارد فضای بخار بالای بویلر شده و بویلر را ترک می‌کنند. در زمانی که این حباب‌ها به سطح آب می‌رسند لایه سطحی آب را می‌شکنند.



شکل۱۱-۲: شماتیک خروج حباب‌های بخار از سطح آب بویلر

۱- مراجعه شود به فصل ۱۲ پمپ در دیگ‌خانه

۱- ترکیدن این حباب‌های بخار در سطح باعث می‌شود لایه نازکی از آب وارد فضای بخار شود. بخشی از این میزان جزئی آب ممکن است توسط بخار حمل شده و به خط بخار وارد شود.(به همین دلیل است که هیچ بویلری نمی‌تواند بخار ۱۰۰٪ خشک تولید کند)

۲- پس از جدا شدن حباب از سطح آب دهانه‌ای بر روی سطح آب بجای می‌ماند که آب برای پر کردن این دهانه به سمت آن می‌آید. حال اندازه این حباب‌ها نسبت مستقیم با فشار بخار دارد چنانچه فشار افت کند بزرگ شدن این حباب‌ها باعث ایجاد اغتشاش در سطح آب بویلر شده و در نتیجه قطرات آب به این‌سو و آن‌سو پرتاب می‌شوند. بخاری که با افت فشار مواجه شده است با افزایش حجم روبرو می‌شود و در نتیجه سرعت حرکت آن در شیر خروجی بیشتر می‌شود و می‌تواند این قطرات آب را با خود حمل کرده و وارد سیستم توزیع بخار کند.

تغییر سریع مصرف (کوچک بودن سایز بویلر)

تغییر سریع مصرف یکی از عوامل اصلی در افت فشار بویلر است که می‌تواند به دلیل کوچک بودن توان بویلر از نیاز سیستم نیز مربوط باشد. از دیگر عوامل افت سریع فشار می‌توان به زیر آب زنی اشتباه اشاره کرد. چنانچه اپراتور دیگ‌بخار مدت زیرآب‌زنی را زیاد در نظر بگیرد به خصوص در بار کامل (که متاسفانه بسیار معمول است) پمپ باید هم آب بخار شده را جبران کند و هم آب تخلیه شده را، ورود حجم زیاد آب با دمای پایین به داخل بویلر باعث افت سریع و مقطعی فشار بویلر می‌شود.

این تغییر سریع دو مشکل ایجاد می‌کند. اول سطح آب داخل بویلر را بالا می‌برد که مثال بارز آن برداشتن سر سوپاپ زودپز است و دوم افزایش سایز حباب‌های بخار است که پیش‌تر توضیح دادیم. در نتیجه آب بویلر همراه بخار از آن خارج می‌شود.

افزایش TDS

بالا رفتن TDS آب بویلر به علت عدم زیر آب‌زنی به موقع علاوه بر آنکه موجب خوردگی و پایین آمدن ضریب انتقال حرارت در بویلر و در نتیجه پایین آمدن راندمان بویلر می‌شود و از عمر لوله‌ها نیز می‌کاهد از عوامل مهم و تاثیر گذار در مرطوب شدن بخار است.

با افزایش TDS بالاتر از حد مجاز براساس فشار بویلر(جدول۹-۱) سطح آب داخل بویلر را حباب‌های کف مانند (FOAM) فرا می‌گیرد. از آنجاییکه این کف دارای چگالی پایینی است به سادگی توسط بخار حمل شده و وارد خطوط بخار می‌شود که دارای دو اشکال عمده است. اولاً ضریب خشکی بخار را تضعیف کرده و انرژی بخار را کاهش می‌دهد و ثانیاً آبی با TDS بالا را وارد سیستم توزیع بخار می‌کند که آثار مخربی را روی تله‌های بخار و شیرآلات و مبدل‌ها و شیرهای کنترل به‌جا می‌گذارد.

تمام جداول بخار و آنتالپی استخراج شده از آن برای بخار خشک اشباع در فشارهای مختلف است. حال آنکه بویلر قادر به تامین بخار ۱۰۰٪ خشک نخواهد بود و در بهترین حال ۴-۶٪ آب در بخار خروجی از بویلر وجود خواهد داشت. بدین معنی که بخار تولیدی ۹۴-۹۶٪ خشک می‌باشد.

بخار بویلر چنانچه کیفیت مطلوبی نداشته باشد باعث ایجاد مشکلاتی در سیستم خواهد شد که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- کاهش راندمان انتقال حرارت

۲- خرابی زود هنگام شیرهای کنترل

۳- ایجاد ضربه‌قوچ

معادلات بخار مرطوب

آنتالپی واقعی تبخیر را می‌بایست براساس درصد خشکی بخار مورد محاسبه قرار داد.
نسبت خشکی بخار را می‌توان به شکل رابطه۱۱-۱ بیان کرد:

$$\lambda = \frac{Ws}{Ww + Ws} \qquad (۱-۱۱)$$

که در آن:
λ: نسبت خشکی بخار
Ww: جرم آب
Ws: جرم بخار
بعد از بدست آوردن این نسبت به کمک رابطه۱۱-۲ آنتالپی بخار مرطوب را می‌توان به‌دست آورد

$$Ht = hw(1 - \lambda) + (hs \times \lambda) \qquad (۲-۱۱)$$

که در آن:
Ht: آنتالپی بخار مرطوب
Hs: آنتالپی بخار اشباع در فشار بویلر
Hw: آنتالپی آب اشباع در فشار بویلر
λ: نسبت خشکی بخار
حجم مرطوب نیز از رابطه۱۱-۳ بدست می‌آید

$$\lambda \times Vs = V \qquad (۳-۱۱)$$

که در آن:
λ: نسبت خشکی بخار
Vs: حجم بخار خشک اشباع در فشار بویلر
V: حجم بخار مرطوب
نسبت حجمی بخار نیز از رابطه۱۱-۴ قابل محاسبه است

$$\mu = \frac{Vs}{Vw + Vs} \qquad (۴-۱۱)$$

که در آن:
μ: نسبت حجمی بخار
Vs: حجم بخار خشک اشباع در فشار بویلر
Vw: حجم آب
همانطور که پیشتر گفتیم هرچه فشار بخار کمتر باشد حجم آن بیشتر است بنابراین نسبت حجمی بخار مرطوب در فشارهای پایین با حجم بخار خشک تفاوت اندکی خواهد داشت.
جدول زیر درصد وزنی و حجمی بخار مرطوب را در شرایط مختلف نشان می‌دهد. همانطور که از جدول مشخص است حتی در زمانی که ۵۰٪ از وزن بخار تولیدی آب باشد باز هم نسبت حجمی بیش از ۹۹٪ است.

جدول۱۱-۱: درصد حجمی و وزنی بخار مرطوب

Vapor	Liquid	Percent by weight	Percent by volume
100	0	100	100.000
97	3	97	99.997
95	5	95	99.995
90	10	90	99.989
80	20	80	99.975
50	50	50	99.901

تمرین:

چنانچه در ۱۰۰۰ کیلو گرم بخار تولیدی از بویلری با فشار۱۰bar مقدار۵۰ کیلوگرم آب وجود داشته باشد مطلوبست نسبت خشکی و آنتالپی بخار مرطوب و حجم بخار مرطوب و نسبت حجمی آن

حل:

آنتالپی بخار اشباع در۱۰bar فشار:۲۷۸۱کیلوژول بر کیلوگرم
آنتالپی آب در۱۰bar فشار:۷۸۱ کیلوژول بر کیلو گرم
حجم ۱۰۰۰ کیلوگرم بخار اشباع در ۱۰bar فشار:۵/۶۵متر مکعب
حجم ۵۰ کیلوگرم آب در ۱۰bar فشار: ۰/۰۵۶متر مکعب

$$\lambda = \frac{۱۰۰۰}{۵۰+۱۰۰۰} = ۰/۹۵$$

$$hw(1-\lambda)+(hs\times\lambda)\,Ht =$$

$$Ht=۷۸۷(۱-۰/۹۵)+(۲۷۸۱\times۰/۹۵)=۲۶۸۱$$

$$\lambda \times Vs = V$$

$$V=۰/۹۵\times(۱۰۰۰\div۱۷۷)=۵/۳۶m3$$

$$\mu = \frac{Vs}{Vw+Vs}$$

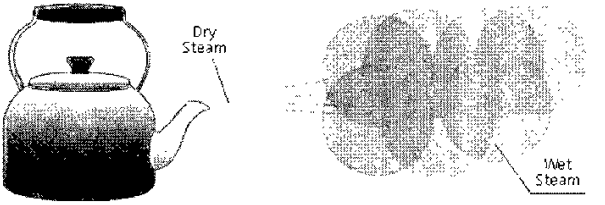
$$\mu = \frac{(۱۰۰۰\div۱۷۷)}{(۵۰\div۸۸۷)+(۱۰۰۰\div۱۷۷)} = ۰/۹۹۱$$

کیفیت بخار را چگونه اندازه‌گیری کنیم؟

برای این منظور به دستگاه کالری متر و کنتورهای دقیق بخار نیاز است که با توجه به فشار و حجم و انرژی موجود در بخار کیفیت آن را مورد محاسبه قرار داد.

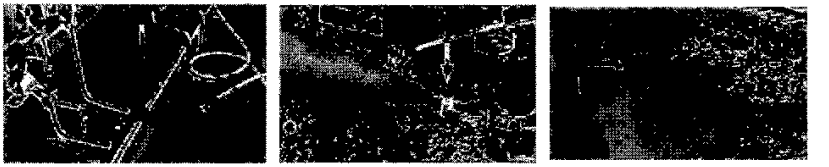
اما از آنجاییکه در اکثر دیگ‌خانه‌ها چنین تجهیزاتی وجود ندارد می‌توان با یک تست ساده کیفیت بخار موجود را مشاهده نمود. بخار اشباع کاملاً بی رنگ است و صرفاً وجود آب و هوا در آن موجب دیده شدن آن می‌شود. برای مثال در یک کتری در حال جوشیدن بخار خروجی از کتری در ابتدا قابل رویئت نیست و در فاصله چند سانتیمتری که بخشی از بخار کندانس می‌شود وجود آب در بخار باعث دیده شدن

آن می‌شود.



شکل۱۱-۳: بخار خشک و مرطوب خارج شده از کتری

حال همین آزمایش را می‌توان با بخار صنعتی انجام داد. چنانچه لوله بخار را مستقیماً به اتمسفر باز کنیم در ابتدای خروجی از لوله می‌بایست بخار نامرئی یا به اصلاح DRY INVISIBLE STEAM وجود داشته باشد و پس از طی مسافتی رنگ سفید به خود بگیرد (در اثر کندانس شدن بخار). حال چنانچه بخار خروجی از همان ابتدا دارای رنگ سفید باشد کیفیت بخار مطلوب نیست.



شکل ۱۱-۴: بخار خشک (سمت چپ) و مرطوب خارج شده از لوله به فضای اتمسفر

❖ این روش صرفاً تجربی است و به کمک آن نمی‌توان درصد خشکی بخار را محاسبه نمود

ضربه‌قوچ یا ضربه چکش

براساس یک تعریف کلی ضربه ناشی از انرژی جنبشی سیال در حال حرکت در لوله را ضربه‌قوچ می‌نامند.ضربه قوچ در خطوط آب[1] و بخار به وقوع می‌پیوندد.

این ضربه تا آنجا می‌تواند قوی باشد که در سال ۲۰۰۷ در شهر نیویورک باعث تخریب یک لوله "۲۴ بخار شد ویک کشته و چندین نفر زخمی ناشی از آوار و سوختی بر جای گذاشت. (این تغییر فشار ناگهانی می‌تواند تا bar ۱۰۰به خطوط نیرو وارد کند).

از آنجاییکه صدای چکش مانند ضربه‌قوچ (BANG)بسیار بلند است. چنانچه پرسنل دیگ‌خانه قبلاً آموزش صحیح در این ارتباط دیده باشند می‌توانند از شدت آن بکاهند و در نتیجه از بروز خسارات مالی و بعضاً جانی جلوگیری نمایند.

ضربه‌قوچ در دیگ‌خانه می‌تواند در الف) خطوط انتقال بخار، ب)تجهیزات مصرف‌کننده بخار و یا ج)خطوط کندانس به وقوع بپیوندد.

از اثرات مخرب ناشی از وقوع ضربه‌قوچ می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

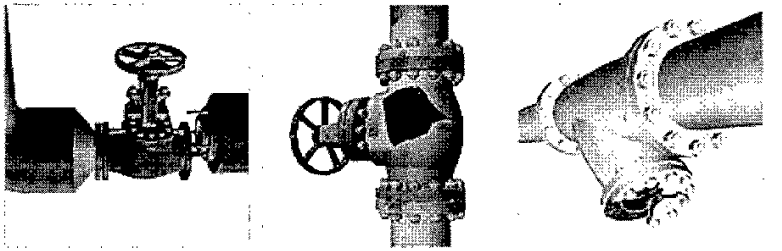
۱- ایجاد ترک بر روی بدنه شیرآلات، تله‌های بخار وتخریب اجزای داخلی آنها از قبیل سیت وپلاگ، شناور، ...

۲- اعمال تنشهای سنگین وکاهش دقت عملکرد تجهیزات ابزار دقیق مانند مانومتر، ترمومتر، فلومتر

---

[1] فیلم آموزشی شماره۱۱-۱ را ببینید

وسنسورها؛
۳- ایجاد شکست وترک در اتصالات بکار رفته نظیر زانو، سه راه، درپوش، فلنجها؛
۴- اعمال فشار شدید بر ساپورتها و تکیه‌گاه‌های بکار رفته در سیستم لوله‌کشی و تخریب آنها
۵- ایجاد شکستگی و ترک در محل‌های جوش ونشت بخار
۶- اعمال فشار وتخریب دستگاه‌های بکار رفته در موتورخانه ازقبیل شکستن لوله‌های درون مبدل‌های حرارتی یا منابع کوئلی
۷- کاهش ایمنی جهت پرسنل نگهدار



Example of piping damaged by water hammer

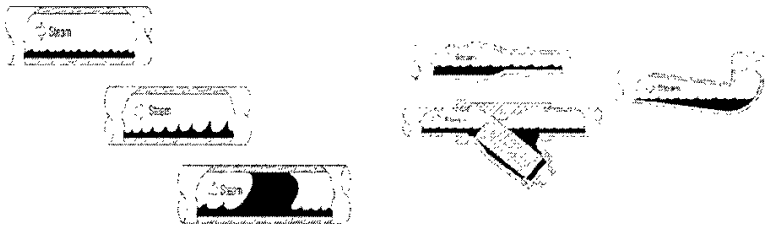
شکل۱۱-۵: خرابی ناشی از ضربه چکش در خطوط بخار

طبق تحقیقات صورت گرفته ۴ عامل اصلی در وقوع این پدیده موثرند:
الف) شوک هیدرولیک
ب) شوک جریان
ج) شوک اختلاف فشار
د) شوک اختلاف دما

ضربه‌قوچ در خطوط انتقال بخار ناشی از شوک هیدرولیکی

چنانچه در خطوط انتقال بخار آب وجود داشته باشد(ناشی از کندانس) بعد از باز شدن شیر، بخار با فشار و سرعت وارد لوله می‌شود. با توجه به آنکه سرعت مجاز آب در لوله حد اکثر۲- ۳ متر بر ثانیه است و سرعت بخار در لوله ۳۵- ۲۵متر بر ثانیه است می‌توان دریافت که چنانچه آب موجود با سرعتی معادل ۸۰-۱۱۰ کیلومتر بر ساعت (سرعت بخار)حرکت کند انرژی جنبشی فوق‌العاده بالایی به‌وجود می‌آورد.

حال چنانچه قبل از رسیدن به سکون به مانعی مانند زانو و یا شیر آلات برخورد کند شوک هیدرولیکی به‌وجود می‌آورد که می‌تواند موجب تخریب شیر آلات زانوها و... شود. این اتفاق عموماً در زمانی رخ می‌دهد که سیستم برای مدتی خاموش بوده و در نتیجه بخار موجود در لوله‌ها کندانس شده و بجای مانده است. حال پس از راه‌اندازی مجدد سیستم با باز شدن شیر بخار ضربه‌قوچ به‌وجود خواهد آمد.



شکل۱۱-۶: ایجاد ضربه‌قوچ

برای رفع این معضل ۲ راهکار اصلی پیش روست:

۱- استفاده از شیر وارم آپ[1](توضیح کامل در فصل انتقال بخار)

۲- نصب دریپ لگ[1]

دریپ لگ

لوله‌ها دارای تبادل حرارتی با محیط اطراف خود هستند و در نتیجه مقداری از بخار داخل لوله به کندانس تبدیل خواهد شد. حال هرچه لوله‌ها دارای عایق با کیفیت‌تری باشند میزان کندانس کمتر خواهد بود.

جدول ۱۱-۲میزان انرژی اتلاف شده در لوله‌های بدون عایق بخار در سایزهای مختلف و فشارهای مختلف به ازاء هر ۱۰۰ فوت طول لوله را نشان می‌دهد.

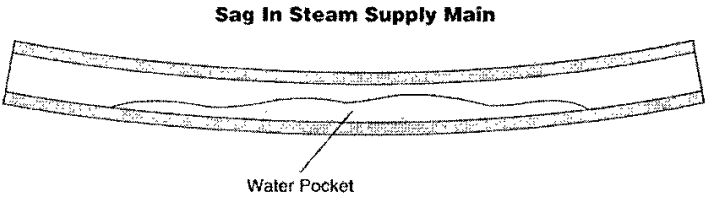
جدول۱۱-۲: اتلاف در لوله بدون عایق

Savings potential				
Heat Loss Per 100 Feet of Uninsulated Steam Line				
Distribution Line Diameter, inches	Heat Loss Per 100 Feet of Uninsulated Steam Line, MMBtu/yr			
	Steam Pressure, psig			
	15	150	300	600
1	140	285	375	495
2	235	480	630	840
4	415	850	1,120	1,500
8	740	1,540	2,030	2,725
12	1,055	2,200	2,910	3,920

با توجه به جدول فوق می‌توان دریافت که عایق کاری لوله‌ها امری است حیاتی. اما در لوله‌های عایق شده نیز مقداری از بخار به کندانس تبدیل می‌شود. برای مثال به ازاء هر۳۰ متر لوله عایق شده "۴ با سرعت مجاز بخار اشباع ۱۰ کیلوگرم در ساعت کندانس ایجاد خواهد شد که می‌بایست از سیستم خارج شود.

از همین روی خطوط بخار نباید هیچ‌گونه تابی داشته باشند و باید در جهت حرکت بخار شیب منفی ۱به۱۰۰داشته باشند تا بتوان به کمک نیروی ثقل و توسط دریپ لگ آنرا تخلیه نمود.

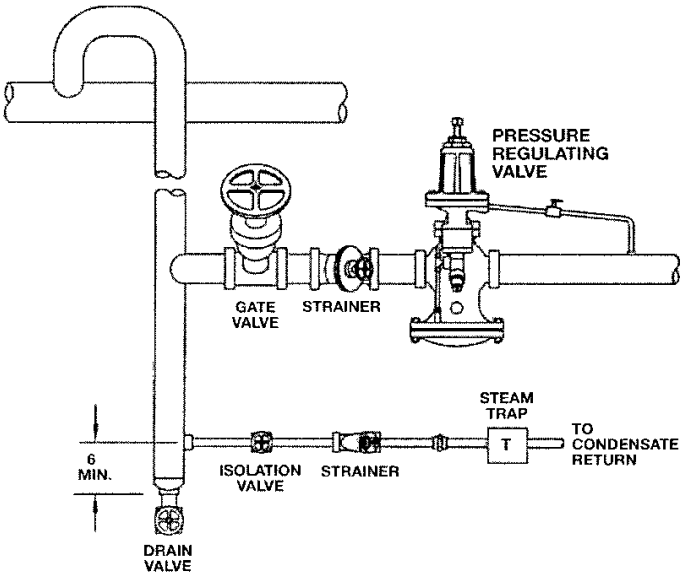
1- Warm up Valve
1- Drip Leg



شکل۱۱-۷:تجمع آب در خطوط بخار تاب دار

توضیح دریپ‌لگ‌ها را می‌بایست در خطوط مستقیم انتقال بخار هر ۳۰-۵۰ متر و قبل از هرگونه تغییر مسیر ناگهانی خطوط بخار و همچنین انتهای خطوط بخار اجراء نمود.

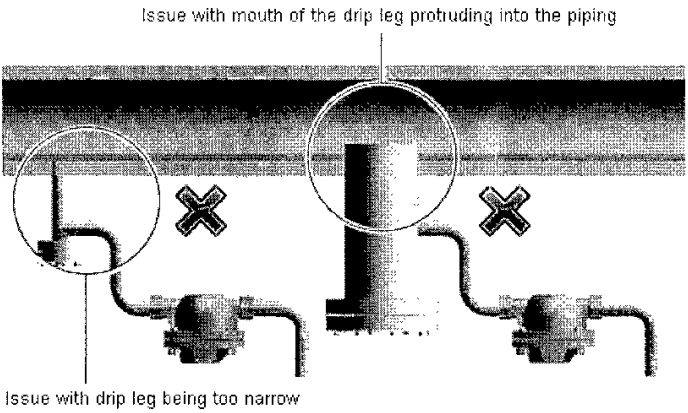
برای جلوگیری از برخورد ضربه‌قوچ با شیرآلات کنترلی و فشارشکن‌ها که عموماً قیمت بالایی دارند نیز اجرای دراپ‌لگ توصیه می‌شود.



شکل۱۱-۸: شماتیک نصب دراپ‌لگ قبل از فشارشکن بخار

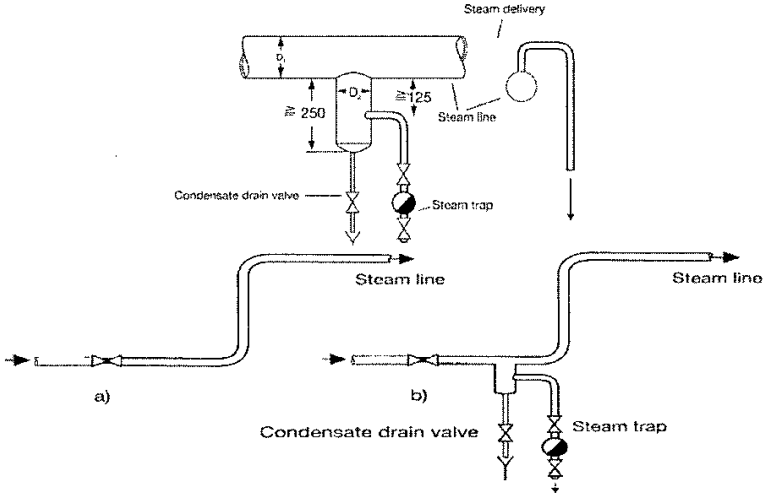
تله‌بخار مناسب برای تخلیه کندانس دریپ‌لگ‌ها برای فشارهای پایین تله‌بخار فلوتری و سطلی معکوس و برای فشارهای بالا ترمودینامیکی توصیه می‌گردد. ضریب اطمینان (SAFTY FACTOR) در انتخاب دریپ لگ معادل ۲ برابر است. تله‌بخار سایز " ½ برای نصب در دریپ لگ‌ها مناسب است.

همانطور که پیش‌تر گفتیم جمع آوری کندانس در داخل دریپ‌لگ به‌صورت ثقلی صورت می‌گیرد بنابراین سایز زنی صحیح ابعاد آن بسیار مهم است.



شکل۱۱-۹: تاثیر سایز و شکل دریپ لگ

برای محاسبه دقیق دریپ‌لگ می‌توان به کمک شکل و جدول زیر انواع آن را مورد محاسبه قرار داد.

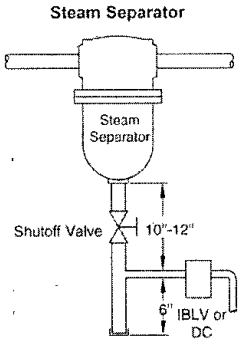


D1 mm	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	600
D2 mm	50	65	80	80	80	100	150	150	200	200	200	250	250	250

شکل۱۱-۱۰: ابعاد صحیح دریپ‌لگ

در انتهای دریپ‌لگ‌ها باید شیر تخلیه نصب گردد که می‌بایست حداقل "۶ پایین‌تر از خط تله‌بخار قرار گیرد.

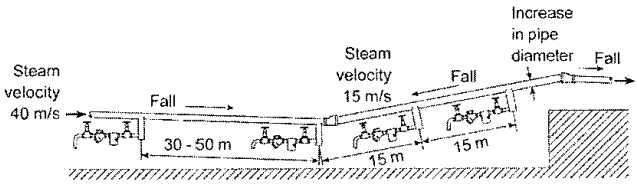
برای عملکرد صحیح سپریتورها نیز باید در خروجی زیر سپریتور دریپ‌لگ اجرا گردد.



شکل۱۱-۱۱: شماتیک نصب سپریتور بخار

حال چنانچه برای انتقال بخار مجبور به لوله‌کشی با شیب مثبت بودیم چطور؟

در این حالت باید قطر لوله را بزرگ‌تر از قطر لوله با شیب منفی در نظر گرفت تا سرعت حرکت بخار در آن کاهش پیدا کند(۱۵-۱۷ m/s). همچنین شیب را نباید کمتر از ۲/۵ به ۱۰۰ در نظر گرفت و فواصل اجرای دریپ لگ‌ها به ازاء هر ۱۵ متر خواهد بود.



شکل۱۱-۱۲: شماتیک خط بخار با شیب مثبت

ضربه‌قوچ در تجهیزات مصرف‌کننده بخار ناشی از شوک جریان

ضربه‌قوچ بر روی تجهیزات معمولاً در حدفاصل میان شیرآلات و مصرف کننده‌ها اتفاق می‌افتد. بدین ترتیب که به دلیل کاهش میزان بخار مورد نیاز در مصرف‌کننده شیرهای کنترل بسته می‌شود و بخار به جای مانده بین شیر و مصرف‌کننده تبدیل به کندانس می‌شود. در هنگام شروع مجدد کار دستگاه‌ها و نیاز آنها به بخار، با باز شدن شیرکنترل، بخار با سرعت و فشار بالا وارد لوله شده وکندانس جمع شده را با شدت به سمت دستگاه‌ها وتجهیزات مصرف‌کننده می‌راند. حاصل این عمل، برخورد شدید ستونی از آب با شتاب زیاد با قطعات داخلی تجهیزات ومصرف کننده‌ها می‌باشد. به طور مثال ترکیدگی لوله‌ها و یا در برخی موارد ایجاد شکستگی وترک بر روی بدنه (پوسته) مبدل‌های حرارتی ناشی از این نوع ضربه چکش است. راه‌حل مناسب جهت جلوگیری و یا کاهش این‌گونه ضربات چکش ناشی از شوک جریان، انتخاب سایز دقیق و مناسب شیرآلات کنترلی دما- فشار می‌باشد. شیرکنترلی با سایز تقریباً بزرگ را در نظر بگیرید که درهنگام باز وبسته شدن خود، حجم قابل ملاحظه‌ای از بخار را در سرعت وفشار بالا وارد خط می‌کند. بنابراین انتخاب دقیق سایز مناسب این‌گونه شیرآلات جهت کاهش باز وبسته شدن آنها وکاهش تغییرات در میزان جریان بخار ورودی، امری ضروری است .بر طبق استاندارد، شرایط

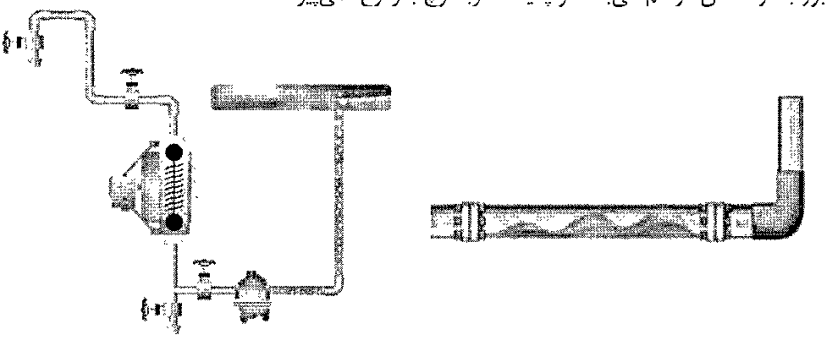
صحیح کارکرد اینگونه شیرآلات بصورت نیمه باز بوده وفقط در زمانهای لازم و باتوجه به میزان مصرف ، اندکی ازحالت اولیه خود تغییر وضعیت (اندکی باز یا بسته)می دهند. باید توجه داشت که نصب تله‌بخار با ظرفیت وسایز مناسب در ورودی سیستم قبل از شیر کنترل بخار و در خروجی مصرف کننده‌ها نیز جهت تخلیه کامل و به موقع کندانس تشکیلی، لازم الاجراء است.

ضربه‌قوچ در خطوط کندانس ناشی از شوک اختلاف فشار و دما

شوک اختلاف فشار

این نوع شوک مختص لوله‌های برگشت کندانس بوده وعموماً در کلکتورهای اصلی جمع‌کننده کندانس اعمال می‌شود. همانطور که گفتیم اگر کندانس فشار بالا ، به‌طور مستقیم به فضای آزاد(اتمسفریک) و یا به لوله‌ای با فشار بسیار کمتر وارد شود، بدلیل افت فشار، حجم زیادی از آن در شرایط دما ثابت تغییر فاز داده و مستقیماً به بخار فلش تبدیل می‌شود. بخار فلاش با سرعت وشتابی معادل ۱۰ برابر کندانس در داخل لوله شروع به حرکت می‌کند. در صورتیکه سایز لوله کندانس مناسب نباشد (سایز لوله کوچک انتخاب شده باشد) و فضای کافی برای جریان بخار فلاش بوجود آمده در لوله فراهم نباشد (لوله کاملاً مملو از کندانس باشد)، تغییر حجم ناگهانی وسرعت بالای آن فشاری را بر ستونهای متحرک آب وارد کرده وباعث رانده شدن حجم زیادی از کندانس در امتداد لوله می‌شود. این حرکت شتابدار آب که اصطلاحاً به حرکت پیستونی معروف است در امتداد جریان خود به مرور بر جرم وسرعت افزوده واندازه حرکت (ممنتوم) بسیار بالایی را در خود ذخیره می‌کند و در هنگام تغییرمسیر ناگهانی در زانو- سه راه ویا توقف توسط شیرآلات قطع و وصل، ضربه‌قوچ را بر سیستم واتصالات آن وارد می‌آورد.[1]

همانطور که میدانید در شرایط دو فازی در داخل سیستمها، کندانس به‌دلیل داشتن جرم حجمی بالاتر در سطح زیرین لوله حرکت کرده و بخار در فضای خالی بالای آن جریان دارد. بنابراین یکی از مهمترین مسائل در طراحی سیستمها، انتخاب سایز مناسب ودقیق لوله‌های برگشت کندانس با درنظر گرفتن فضایی مناسب جهت جلوگیری از بروز ضربه چکش ناشی از اختلاف فشار می‌باشد. لازم به‌ذکر است تا زمانی که ارتفاع ستون‌های کندانس در حال حرکت به سطح بالایی لوله نرسد، مسیر لازم جهت عبور بخار فلاش فراهم می‌باشد و پدیده ضربه‌قوچ به‌وقوع نمی‌پیوندد.



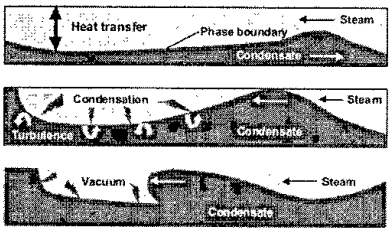
شکل۱۱-۱۳:ضربه‌قوچ ناشی از ورود بخار فلش و لمس بالای لوله توسط آب

[1] فیلم آموزشی شماره۱۱-۲ را ببینید

به محض اینکه ستونهای آب تشکیلی در اثر افزایش میزان کندانس، سطح بالایی لوله را لمس کند، در این صورت مسیر گذر بخار فلاش بسته شده وبخار فلاش برای حرکت بر پشت ستونهای آب فشار وارد کرده وآنها را با شتاب به سمت جلو رانده وباعث بروز ضربه‌قوچ می‌شود. بنابراین انتخاب سایزهای بالاتر برای لوله‌های برگشت کندانس ارجح می‌باشد. علاوه برآن، عدم اختلاط کندانس لوله‌هایی با اختلاف فشار زیاد نسبت به یکدیگر، در کاهش این پدیده بسیار موثر است.

شوک دمایی[1]

این شوک نیز همانند شوک ناشی از اختلاف فشار، فقط در خطوط برگشت کندانس رخ داده و بسیار مخرب است. عموماً در لوله‌ها باشرایط دو فازی، بدلیل آشفتگی جریان کندانس که بر اثر ورود ناگهانی کندانس‌های نواحی مختلف وتشکیل بخار فلاش پدید می‌آید، همواره حجمی از بخار توسط کندانس‌های اطراف احاطه ومحبوس می‌شود. این حجم احاطه شده به‌صورت مجموعه‌ای متمرکز ازحباب‌های ریز، در داخل کندانس غوطه‌ور می‌شود. در این شرایط کندانس‌های موجود، بدلیل داشتن اختلاف دما، حباب‌های بخار فلاش را سرد کرده و باعث به سرعت متلاشی شدن و تغییر فاز آنها می‌شوند. از طرفی جرم مشخصی از آب در فاز بخار فضایی در حدود ۱۶۰۰ برابر فضای اشغالی خود در فاز مایع را به خود اختصاص می‌دهد. بنابراین متلاشی شدن ناگهانی حباب‌های بخار در اثر انتقال حرارت خود به کندانس‌های اطراف، فضایی خالی را در داخل کندانس به‌وجود می‌آورند. در این حالت کندانس‌های موجود در اطراف فضای خالی، در اثر خلاء نسبی پدید آمده ناشی از تغییر حجم بخار، با شتاب وسرعت بسیار بالا و از تمامی جهات برای پرکردن این فضای خالی به سمت آن هجوم آورده و همین این امر منجر به برخورد امواج مغشوش وشتابدار کندانس با یکدیگر، ایجاد ضربه وتولید صدای شدید ونهایتاً وارد آمدن ضربه‌قوچ موضعی از محل برخورد امواج بر سیستم می‌شود.



شکل۱۱-۱۳:ضربه‌قوچ ناشی از شوک اختلاف دما و ایجاد وکیوم

هوا در بخار

قانون دالتون

این قانون که در مورد گازهای کامل همخوانی دارد توسط جان دالتون در سال ۱۸۰۱ به‌وجود آمد. طبق این قانون:

فشار کل مخلوطی از گازها برابر با مجموع فشار جزئی هر یک از آن گازها است.

$$P_{total} = \sum_{i=1}^{n} Pi$$

[1] فیلم آموزشی شماره۱۱-۳و۱۱-۴ را ببینید

$$P_{total} = p_1 + p_2 + ... + p_n$$

این قانون در حالتی حکم می‌کند که گازها بر هم واکنش نداشته باشند.

$$P_i = P_{total} m_i$$

$$P_i = \frac{P_{total} C_i}{1,000,000}$$

که در آن:

Mi: نسبت مولی

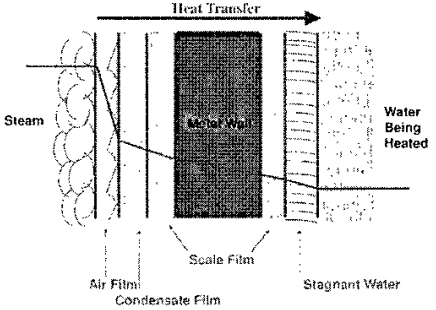
Ci: غلظت بر حسب ppm

با توجه به قانون فوق می‌توان دریافت زمانی که هوا و گازهای غیر قابل کندانس با بخار همراه شوند فشاری را که فشارسنج‌ها نشان می‌دهند مجموع فشار بخار و هوا است. بنابراین قرائت این فشار از روی نشانگر معرف فشار واقعی بخار نیست و در نتیجه نمی‌توان دما و انرژی واقعی بخار را محاسبه نمود. جدول۱۱-۳ فشار نشان داده توسط فشارسنج را نسبت به درصد وجود هوا در بخار نشان می‌دهد. برای مثال در بخار با فشار 5barg چنانچه ۹٪ هوا وجود داشته باشد فشار به 5.6barg می‌رسد.

جدول۱۱-۳: تاثیر هوا در فشار بخار

t_s	P	Percentage of air in steam by volume					
Saturated steam temperature [°C]	Gauge pressure with pure steam [barg]	1 %	3 %	6 %	9 %	12 %	15 %
		Necessary gauge pressure for air-contaminated steam [barg]					
120.23	1	1.02	1.06	1.13	1.20	1.27	1.35
133.54	2	2.03	2.09	2.19	2.32	2.41	2.53
143.62	3	3.04	3.12	3.25	3.40	3.52	3.71
158.84	5	5.06	5.18	5.38	5.60	5.82	6.06
184.05	10	10.11	10.34	10.70	11.09	11.50	11.94
201.36	15	15.16	15.48	16.02	16.58	17.20	17.82
214.84	20	20.21	20.65	21.34	22.07	22.87	23.70

مهم‌ترین اشکال وجود هوا در سیستم جلوگیری از تبادل حرارتی است. همچنین از آنجاییکه بخار مورد نیاز مصرف کننده‌های بخار می‌بایست با دما و فشار مناسب به آنها برسد باید این هوا را از سیستم خارج نمود.



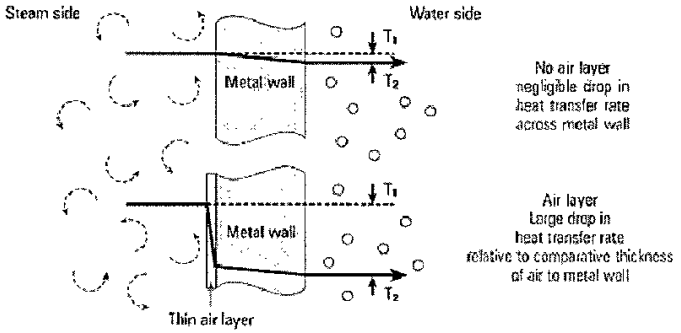
شکل۱۱-۱۴: شماتیک انتقال حرارت

اما پیش از آنکه به چگونگی خارج ساختن هوا بپردازیم باید بدانیم این گازها چگونه وارد سیستم می‌شوند.

ورود هوا به سیستم بخار

۱- خاموشی سیستم

مهمترین زمان برای هواگیری از سیستم بخار در زمان راه‌اندازی است. زمانی که بخار در سیستم پس از تعطیلی به طور کامل کندانس می‌شود با کم شدن فشار و رفتن به سمت خلاء شیرهای خلاءشکن باز شده و سیستم را پر از هوا می‌کنند. پس از آغاز به کار مجدد سیستم، بخار هوا را به دورترین نقطه نسبت به ورودی بخار هدایت می‌کند. همچنین بخشی از هوا با بخار مخلوط شده و همراه با آن وارد تجهیزات می‌شود. این هوا مانند یک عایق بر روی سطوح حرارتی قرار می‌گیرد. از آنجاییکه مقاوت حرارتی هوا معادل ۰,۰۲۵ W/m°c است و این عدد ۱۵۰۰ تا ۳۰۰۰ بار بیشتر از فولاد و ۸۰۰۰ تا ۱۶۰۰۰ بار بیشتر از مس است تبادل حرارتی را به شدت کاهش می‌دهد. (برای مثال یک لایه به ضخامت۰/۰۲۵متر از هوا درای مقاومت حرارتی معادل ۴۰۰ میلی‌متر از مس است).



شکل۱۱-۱۵: تاثیر هوا بر روی انتقال حرارت

۲- وجود هوا و گازهای غیر قابل کندانس در آب تغذیه

آب تغذیه بویلر(آب جبرانی+آب کندانس)دارای هوا و گازهای غیر قابل کندانس است که توسط تصفیه داخلی و خارجی آنها را حذف می‌کنیم اما ممکن است همچنان مقداری از آنها وارد بویلر شوند و توسط بخار به داخل سیستم هدایت شود.

همچنین بی‌کربنات‌ها در داخل آب تغذیه که ابتدا به صورت Mg(Hco3)2 و یا Ca(Hco3)2 حضور دارند بعد از سیکل تعویض یونی به NaHco3 تغییر می‌کنند و وارد بویلر می‌شوند. پیوند Hco3 در داخل بویلر در دمای بالا شکسته و co2 آزاد می‌کند. این گاز غیر قابل کندانس با بخار وارد سیستم می‌شود.

۳- خلاشکن[1]

در تجهیزاتی که شیر کنترلی وجود دارد برای جلوگیری از ایجاد خلاء شیرهای خلاء شکن نصب می‌گردد که این شیرها خود از عوامل ورود هوا به سیستم هستند.

1- Vacuum Breaker
1- Airvent

هواگیری

برای هواگیری در سیستم‌های بخار چند راهکار اساسی وجود دارد:

۱- استفاده از ایرونت یا شیرهواگیری

۲- نصب شیر بای‌پس برای تله‌های بخار

۳- هواگیری به کمک تله‌های بخار

ایرونت[۲]

ایرونت‌ها وظیفه تخلیه هوا از سیستم را بر عهده دارند. ایرونت به صورت ترموستاتیکی عمل کرده و هوا را به صورت اتوماتیک از سیستم خارج می‌کند. از آنجاییکه عملکرد ایرونت به صورت ترموستاتیکی است برای جلوگیری از بروز خطا در عملکرد آن می‌بایست آنرا توسط یک لوله بدون عایق به نقطه مورد نظر متصل نمود. نکته قابل توجه آنست که همواره مقدار کمی بخار همراه با هوا از ایرونت خارج می‌شود که گاهاً توسط اپراتور به غلط به خرابی و نشتی ایرونت تعبیر می‌شود. این در حالی است که صرفاً در زمانی که این خروج بخار بدون توقف صورت می‌گیرد و قطع نمی‌شود حاکی از خرابی و یا نشتی ایرونت است.

شکل۱۱-۱۶: شماتیک ایرونت

اما سوال بسیار مهم اینجاست که ایرونت را کجا نصب کنیم؟ برای پاسخ به این سوال اول باید پاسخ این سوال را بدانیم:

کدام سنگین‌تر است هوا و یا بخار؟

وزن یک مول از هوا معادل ۲۹ گرم است. حال آنکه وزن مولکولی آب ۱۸ گرم است. این بدان معنا است یک مول بخار نیز ۱۸ گرم است. بنابراین در شرایط استاندارد (فشار اتمسفر در سطح دریای آزاد و دمای صفر درجه سانتی‌گراد) یک مول هوا از یک مول بخار سنگین‌تر است. اگر چنین نبود آب دریا بخار نشده و به‌سمت بالا نمی‌رفت. اما در شرایط عملیاتی دیگ‌خانه شرایط متفاوت است و دانسیته بخار و هوا منوط به شرایط زیر است:

۱. نسبت تراکم بخار و هوا

۲. فشار

۳. دما

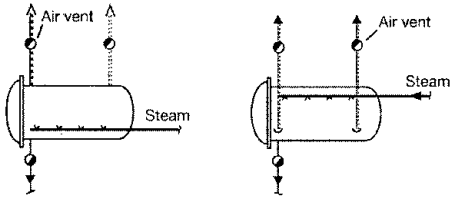
همان‌طور که گفتیم نسبت تراکم هوا و بخار در فشار و دمای بخار موثر است. (جدول۱۱-۳) برای مثال در فشارbarg ۱۰ چنانچه نسبت تراکم بخار و هوا به گونه‌ای باشد که دما به ۱۶۲درجهٔ سانتی‌گراد برسد در این فشار و دما هوا و بخار هم وزن‌اند[۱]. در بالاتر از این دما بخار از هوا سنگین‌تر بوده و در پایین‌تر از این دما هوا از بخار سنگین‌تر است. درbarg ۲۰ این رقم برابری در دمای ۱۸۸درجهٔ سانتی‌گراد است. بنابراین دانسیته هوا و بخار بسته به دما و نسبت فشار مخلوط این دو گاز است. پس چنین می‌توان نتیجه گرفت که همیشه نصب ایرونت در بالاترین نقطه انتخاب مناسبی نیست.

البته نصب ایرونت در تجهیزات کوچک چندان دشوار نیست. زیرا بخار مانند پیستون هوا را به سمت

---

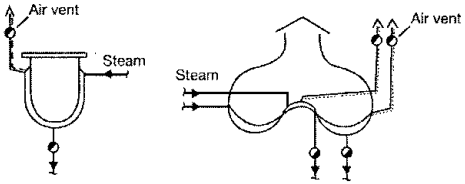
[۱] فیلم آموزشی شماره۱۱-۵ را ببینید

مقابل خود میراند و در نتیجه نصب ایرونت در سمت مقابل به خوبی می‌تواند کارکرد مناسبی داشته باشد.



شکل۱۱-۱۷: شماتیک نصب ایرونت

اما در تجهیزاتی که شکل هندسی منظمی ندارند و نسبت تراکم هوا و بخار و در نتیجه نسبت وزنی این دو مشخص نیست می‌بایست بیش از یک ایرونت نصب گردد تا هواگیری به شکل کامل و صحیح صورت گیرد. البته باید توجه داشت که همواره لوله خروجی متصل به ایرونت بالاتر از خروجی کندانس خواهد بود.



شکل۱۱-۱۸: شماتیک نصب ایرونت

سیلندرهای دوار[1]

در مواردی که مصرف‌کننده بخار دوار است نمی‌توان بر روی خود سیلندر دوار ایرونب نصب نمود. این سیلندرها در صنایع کاغذ سازی، صنایع غذایی و تولید مواد شیمیایی کاربرد فراوانی دارند و در مقابل وجود هوا حساس هستند. جمع شدن هوا باعث می‌شود بخشی از سیلندر سرد شود در نتیجه در کیفیت محصول تولیدی تاثیر منفی خواهد گذاشت.

هواگیری سیلندرها در استارت اولیه بسیار مهم است و نصب مدار بای‌پس برای تله‌بخار و یا استفاده از تله‌بخارهای مجهز به بای‌پس امری مفید است. تله‌بخارهای نوع فلوتری مجهز به ایرونت اتوماتیک نیز بر روی سیلندرهای دوار عملکرد مناسبی دارند. همچنین در صورتی که چند سیلندر به صورت موازی در کنار هم کار می‌کنند بهتر آنست که هر کدام تله‌بخار مجزا داشته باشند. در صورت نیاز به نصب ایرونت بر روی این سیلندرها، نصب در خروجی کندانس بهترین گزینه است.

خطوط بخار[2]

در انتهای خطوط بخار که احتمال گیر افتادن هوا بسیار زیاد است بهترین محل برای نصب ایرونت است. تله‌بخار مناسب برای این نقاط اینورتدباکت (سطلی معکوس) است.

1- Rotating Cylinder
2- Steam Line

ایرونت مشترک

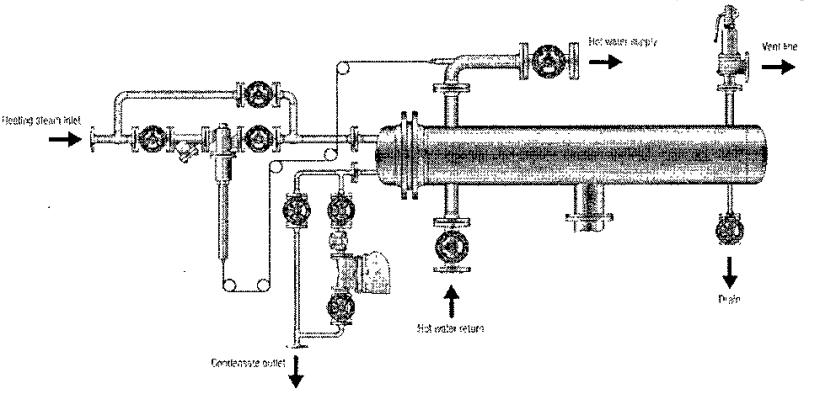
نصب ایرونت مشترک که اصولاً جهت کاهش هزینه‌ها انجام می‌گیرد در واقع عملکرد ناموفقی داشته و بر عکس تصور هزینه‌ها را بالا می‌برد. زیرا وجود هوا یعنی پایین آمدن راندمان انتقال حرارت و این یعنی اتلاف انرژی و اتلاف انرژی به معنی هدر رفت سرمایه است.

۲- نصب شیر بای‌پس

نصب شیر بای‌پس برای هواگیری در زمان راه‌اندازی سیستم بسیار کارآمد است. همچنین نصب بای‌پس برای تله‌هایی‌که خاصیت هواگیری ضعیف دارند توصیه می‌شود. اما باید به این نکته توجه داشت که چنانچه به هر دلیل از شیر بای‌پس بخار عبور کند حال به دلیل خرابی و نشتی شیر و یا سهل انگاری اپراتور و نبستن کامل شیر بعد از هواگیری، این اتفاق موجبات اتلاف انرژی را فراهم کرده و همچنین عملکرد تله را دچار اشکال می‌کند.

۳- هواگیری با تله‌های بخار

در مبدل‌های کوچک‌حرارتی نیازی به نصب ایرونت نمی‌باشد و تنها استفاده از تله‌های بخار با قابلیت گذر هوا کفایت می‌کند.



شکل۱۱-۱۹: شماتیک نصب مبدل پوسته - لوله بدون ایرونت

خطوط سوپرهیت

در این خطوط صرفاً در زمان راه‌اندازی اولیه نیاز به هواگیری می‌باشد. در این خطوط باید از ایرونت‌هایی بهره گرفت که تحمل دمایی بالایی داشته باشند.

فصل ۱۲
انتقال بخار

لوله، اتصالات و استانداردهای متداول

PN-CLASS

PN(Nominal Pressure)، ANSI CLASS اعدادی مرتبط با ظرفیت فشار/ دما اجزای سیستم لوله‌کشی هستند و خواص مکانیکی مواد، اجزا و مشخصات ابعادی آنها را دربر می‌گیرد.

PN: رده‌بندی فشار مطابق استاندارد ISO بوده و نشان دهنده فشار اسمی بر حسب bar است. لول‌های مختلف دسته‌بندی PN به شرح زیر است:

PN levels:
PN2.5، 6، 10، 16، 25، 40، 63، 100، 160، 250، 320، 400

CLASS: رده‌بندی فشار مطابق استانداردANSI بوده و نشان دهنده ماکزیمم فشار بر حسب psi در حداکثر دمای مجاز است. معمولاً فشار کارکرد ۲/۴ برابر اعداد ارائه شده است. لول‌های مختلف دسته‌بندی CLASS به شرح زیر است:

CLASS levels:
CLASS25، 75، 125، 150، 250، 300، 600، 900، 1500، 2500، 4500

Schedual

استاندارد API برای طبقه‌بندی لوله‌ها است. لوله‌های مختلف دسته‌بندی Schedual به شرح زیر است:
Schedual levels:
Schedual5، 10، 20، 30، 40، 60، 80، 100، 120، 140، 160

DN/NPS

اعداد بعد از DN/NPS معرف اندازه اجزای مورد استفاده در سیستم پایپینگ است که عدد قرار گرفته بعد از DN به میلی‌متر بوده و عدد قرار گرفته بعد از NPS به اینچ می‌باشد.

جدول ۱۲-۱: سایزهای مختلف *DN*

DN 10	DN 50	DN 150	DN 400	DN 800	DN 1400	DN 2200	DN 3200
DN 15	DN 60	DN 200	DN 450	DN 900	DN 1500	DN 2400	DN 3400
DN 20	DN 65	DN 250	DN 500	DN 1000	DN 1600	DN 2600	DN 3600
DN 25	DN 80	DN 300	DN 600	DN 1100	DN 1800	DN 2800	DN 3800
DN 32	DN 100	DN 350	DN 700	DN 1200	DN 2000	DN 3000	DN 4000
DN 40	DN 125						

جدول۱۲-۲: سایزهای مختلف*NPS*

NPS ½	NPS 2	NPS 6	NPS 16	NPS 28	NPS 38	NPS 46	NPS 54
NPS ¾	NPS 2 ½	NPS 8	NPS 18	NPS 30	NPS 40	NPS 48	NPS 56
NPS 1	NPS 3	NPS 10	NPS 20	NPS 32	NPS 42	NPS 50	NPS 58
NPS 1 ¼	NPS 4	NPS 12	NPS 24	NPS 34	NPS 44	NPS 52	NPS 60
NPS 1 ½	NPS 5	NPS 14	NPS 26	NPS 36			

در سایزهای 4NPS ≥ مقدار DN برابر 25×NPS است.

جدول۱۲-۳: ابعاد استاندارد لوله Schedual 40,80

Table 38: Schedule 40 Pipe Dimensions

	Diameters			Transverse Areas			Length of Pipe per Sq. Foot of				
Size Inches	External Inches	Internal Inches	Nominal Thickness Inches	External Sq. Ins.	Internal Sq. Ins.	Metal Sq. Ins.	External Surface Feet	Internal Surface Feet	Cubic Feet per Foot of Pipe	Weight per Foot Pounds	Number Threads per Inch of Screw
1/8	.405	.269	.068	.129	.057	.072	9.431	14.199	.00039	.244	27
1/4	.540	.364	.088	.229	.104	.125	7.073	10.493	.00072	.424	18
3/8	.675	.493	.091	.358	.191	.167	5.658	7.747	.00133	.567	18
1/2	.840	.622	.109	.554	.304	.250	4.547	6.141	.00211	.850	14
3/4	1.050	.824	.113	.866	.533	.333	3.637	4.635	.00370	1.130	14
1	1.315	1.049	.133	1.358	.864	.494	2.904	3.641	.00600	1.678	11½
1¼	1.660	1.380	.140	2.164	1.495	.669	2.301	2.767	.01039	2.272	11½
1½	1.900	1.610	.145	2.835	2.036	.799	2.010	2.372	.01414	2.717	11½
2	2.375	2.067	.154	4.430	3.355	1.075	1.608	1.847	.02330	3.652	11½
2½	2.875	2.469	.203	6.492	4.788	1.704	1.328	1.547	.03325	5.793	8
3	3.500	3.068	.216	9.621	7.393	2.228	1.091	1.245	.05134	7.575	8
3½	4.000	3.548	.226	12.56	9.886	2.680	.954	1.076	.06856	9.109	8
4	4.500	4.026	.237	15.90	12.73	3.174	.848	.948	.08840	10.790	8
5	5.563	5.047	.258	24.30	20.00	4.300	.686	.756	.1389	14.61	8
6	6.625	6.065	.280	34.47	28.89	5.581	.576	.629	.2006	18.97	8
8	8.625	7.981	.322	58.42	50.02	8.399	.442	.478	.3552	28.55	8
10	10.750	10.020	.365	90.76	78.85	11.90	.355	.381	.5476	40.48	8
12	12.750	11.938	.406	127.64	111.9	15.74	.299	.318	.7763	53.6	
14	14.000	13.125	.437	153.94	135.3	18.64	.272	.280	.9354	63.0	
16	16.000	15.000	.500	201.05	176.7	24.35	.238	.254	1.223	78.0	
18	18.000	16.874	.563	254.85	224.0	30.85	.212	.226	1.555	105.0	
20	20.000	18.814	.593	314.15	278.0	36.15	.191	.203	1.926	123.0	
24	24.000	22.626	.687	452.40	402.1	50.30	.159	.169	2.783	171.0	

Table 39: Schedule 80 Pipe Dimensions

	Diameters			Transverse Areas			Length of Pipe per Sq. Foot of				
Size Inches	External Inches	Internal Inches	Nominal Thickness Inches	External Sq. Ins.	Internal Sq. Ins.	Metal Sq. Ins.	External Surface Feet	Internal Surface Feet	Cubic Feet per Foot of Pipe	Weight per Foot Pounds	Number Threads per Inch of Screw
1/8	.405	.215	.095	.129	.036	.093	9.431	17.750	.00025	.314	27
1/4	.540	.302	.119	.229	.072	.157	7.073	12.650	.00050	.535	18
3/8	.675	.423	.126	.358	.141	.217	5.658	9.030	.00098	.738	18
1/2	.840	.546	.147	.554	.234	.320	4.547	7.000	.00163	1.00	14
3/4	1.050	.742	1.54	.866	.433	.433	3.637	5.15	.00300	1.47	14
1	1.315	.957	.179	1.358	.719	.639	2.904	3.995	.00500	2.17	11½
1¼	1.660	1.278	.191	2.164	1.283	.881	2.301	2.990	.00891	3.00	11½
1½	1.900	1.500	.200	2.835	1.767	1.068	2.010	2.542	.01227	3.65	11½
2	2.375	1.939	.218	4.430	2.953	1.477	1.608	1.970	.02051	5.02	11½
2½	2.875	2.323	.276	6.492	4.238	2.254	1.328	1.645	.02943	7.66	8
3	3.500	2.900	.300	9.621	6.605	3.016	1.091	1.317	.04587	10.3	8
3½	4.000	3.364	.318	12.56	8.888	3.678	.954	1.135	.06172	12.5	8
4	4.500	3.826	.337	15.90	11.497	4.407	.848	.995	.0798	14.9	8
5	5.563	4.813	.375	24.30	18.194	6.112	.686	.792	.1203	20.8	8
6	6.625	5.761	.432	34.47	26.067	8.300	.576	.673	.1810	28.6	8
8	8.625	7.625	.500	58.42	45.663	12.76	.442	.501	.3171	43.4	8
10	10.750	9.564	.593	90.76	71.84	18.92	.355	.400	.4989	64.4	8
12	12.750	11.376	.687	127.64	101.64	26.00	.299	.336	.7058	88.6	
14	14.000	12.500	.750	153.94	122.72	31.22	.272	.306	.8522	107.0	
16	16.000	14.314	.843	201.05	160.92	40.13	.238	.263	1.117	137.0	
18	18.000	16.126	.937	254.85	204 24	50.61	.212	.237	1.418	171.0	
20	20.000	17.938	1.031	314.15	252.72	61.43	.191	.208	1.755	209 0	
24	24.000	21.564	1.218	452.40	365.22	87.18	.159	.177	2.536	297.0	

تشخیص سیال داخل لوله[1]

استاندارد DIN2403 براساس سیال گذرکننده از لوله‌ها آنها را به ۱۰ گروه تقسیم‌بندی می‌کند. رنگ‌آمیزی این خطوط معرف سیال درون آنها است.

جدول۱۲-۴: رنگ استاندارد خطوط لوله براساس سیال عبوری

Fluid conveyed	Group	Colour	
Water	1	*Yellow green*	RAL 6018
Steam	2	*Flame red*	RAL 3000
Air	3	*Silver grey*	RAL 7001
Combustible gases	4	*Rapeseed yellow* [1]	RAL 1021
Non-combustible gases	5	*Rapeseed yellow* [2]	RAL 1021
Acids	6	*Pastel orange*	RAL 2003
Alkalis	7	*Red lilac*	RAL 4001
Combustible liquids	8	*Ochre brown* [3]	RAL 8001
Non-combustible liquids	9	*Ochre brown* [4]	RAL 8001
Oxygen	0	*Sky blue*	RAL 5015

1) *Rapeseed yellow or rapeseed yellow with the additional tint flame red* (RAL 3000).
2) *Rapeseed yellow with the additional tint jet black* (RAL 9005) *or jet black* (RAL 9005).
3) *Ochre brown or ochre brown with the additional tint flame red* (RAL 3000).
4) *Ochre brown with the additional tint jet black* (RAL 9005) *or jet black* (RAL 9005).

اتصال خطوط

روش اتصال لوله‌ها به هم در خطوط انتقال بخار روش جوش کاری لب‌به‌لب است. این روش در صورت اجرای صحیح بسیار اقتصادی بوده و بدون نشتی است. در این روش لوله‌ها پخ زده می‌شوند و سپس لب‌به‌لب جوشکاری می‌شود.

اتصال شیرآلات و تجهیزات

اتصال دنده‌ای(رزوه‌ای): این اتصال عموماً برای سایزهای تا "۳ و کوچک‌تر انجام می‌گیرد و برای مواقعی که امکان جوشکاری نمی‌باشد گزینه مناسبی است. نوع رزوه‌ها و تعداد آنها و زاویه بین آنها دارای استانداردهای متنوعی است.

اتصال فلنچی: این اتصال برای تمامی سایزها امکان پذیر است اما برای سایزهای بزرگ‌تر از"۳ قطعی به نظر می‌رسد. این اتصال برای مواقعی که احتیاج به باز و بستن به صورت دوره‌ای وجود دارد بسیار مناسب است. این سیستم به صورت جفت بوده و دو فلنچ مقابل هم قرار می‌گیرد. بنابراین می‌بایست هر دو فلنچ از استاندارد برابر باشد. برای آب‌بندی در این سیستم یک Gasket بین دو فلنچ قرار داده می‌شود و سپس با پیچ و مهره به‌هم محکم می‌شود.

انتقال بخار

اساساً هدف از تولید بخار در بویلر یا همان قلب دیگ‌خانه انتقال انرژی است. بنابراین انتقال صحیح بخار حائز اهمیت است. از اهم مواردی را که می‌بایست در این سیستم انتقال به آن توجه کرد به ترتیب ذیل است:

۱- اندازه‌گذاری صحیح با توجه به سرعت و افت مجاز در لوله‌های انتقال بخار
۲- در نظر گرفتن شیب مناسب برای خطوط انتقال بخار
۳- خارج کردن آب و هوای موجود در بخار

1- Identification of pipes

۴- در نظر گرفتن انبساط و نصب قطعات انبساطی
۵- عایق کاری خطوط

اندازه‌گذاری خطوط

اندازه‌گذاری صحیح لوله‌ها دارای اهمیت زیادی است. زیرا چنانچه لوله‌ها کوچک‌تر از آن چیزی که باید انتخاب و اجراء گردند سرعت حرکت بخار در آنها افزایش یافته و علاوه بر آنکه خوردگی را بالا می‌برند، احتمال ایجاد ضربه‌قوچ را نیز به‌وجود می‌آورند. همچنین با بالا رفتن افت ممکن است فشار مورد نیاز یا بخار مورد نیاز مصرف کننده‌ها تامین نشود.

در حالت عکس آن یعنی بزرگ‌تر در نظر گرفتن خطوط یا به اصطلاح Over Size بودن خطوط اولاً هزینه اولیه خرید بابت قیمت لوله، اتصالات و شیرآلات بالا می‌رود و ثانیاً هزینه‌های اجرای خطوط و عایق کاری را افزایش می‌دهد و ثالثاً افزایش سایز و در نتیجه افزایش سطح در خطوط انتقال بخار کندانس بیشتری را به‌وجود خواهد آورد و در نتیجه به تله‌بخارهای بیشری برای خارج کردن این کندانس از خطوط احتاج است.

اندازه‌گذاری براساس سرعت

سرعت بخار در لوله را می‌توان مهمترین عامل در انتخاب سایز دانست زیرا بین افت و سرعت رابطه مستقیمی برقرار است و اساساً اگر سیال سرعت نداشته باشد افتی به‌وجود نخواهد آمد. بنابراین سرعت حرکت بخار در سیستم انتقال بخار حتماً باید در محدوده مجاز باشد. جدول۱۲-۵ سرعت مجاز برای سیالات مختلف از جمله اشکال مختلف بخار را در سیستم SI برحسب $^{m}/_{s}$ نشان می‌دهد.

جدول۱۲-۵: سرعت مجاز آب و بخار در خطوط لوله

Flash and exhaust steam lines, flash steam in condensate lines	15 – 25 m/s
Saturated steam lines	
up to 1 bar	≤ 10 m/s
1 to 2 bar	10 – 15 m/s
2 to 5 bar abs	15 – 25 m/s
5 to 10 bar abs	25 – 35 m/s
10 to 40 bars abs	35 – 40 m/s
40 bar abs	≤ 60 m/s
Superheated steam lines of low capacity	approx. 35 m/s
Superheated steam lines of medium capacity	40 – 50 m/s
Superheated steam lines of high capacity	50 – 65 m/s
Feedwater suction lines	0.5 – 1.0 m/s
Feedwater pressure lines	1.5 – 3.5 m/s
Cooling water suction lines	0.7 – 1.5 m/s
Cooling water pressure lines	1.0 – 5.5 m/s
Drinking and service water lines	1.0 – 2.0 m/s
Compressed air lines	15 m/s

برای محاسبه سرعت به ۲روش می‌توان عمل کرد. روش اول استفاده از فرمول محاسباتی و روش دوم که پر استفاده‌ترین روش است استفاده از جداول محاسباتی است.

فرمول کلی برای محاسبه سرعت، تقسیم دبی بخار(V) بر سطح مقطع(A) است که آن را به شکل زیر می‌توان بیان کرد:

$$\dot{V} = w.A = wd^2\pi / 4 \qquad (۱-۱۲)$$

که در آن:

V:دبی متر مکعب بر ثانیه(m^3/s)

W:سرعت(m/s)

A: سطح مقطع(m^2)

d: قطر لوله(m)

با تغییر دبی به متر مکعب بر ساعت و مقطع لوله به میلی‌متر فرمول فوق به شکل زیر تبدیل می‌کردد:

$$\dot{V} = \frac{wd^2}{۳۵۴} \qquad (۲-۱۲)$$

که در آن:

V:دبی متر مکعب بر ساعت (m^3/hr)

W: سرعت (m/s)

d: قطر لوله (mm)

تمرین:

مطلوبست سایز مناسب برای kg/hr ۲۰۰۰ بخار اشباع با فشار۵barg چنانچه حداکثر سرعت مجاز m/s 25 باشد.

حل:

حجم بخار اشباع در۵barg برابر است با m^3/kg ۰/۳۱۴

۲۰۰۰×۰/۳۱۴=۶۲۸

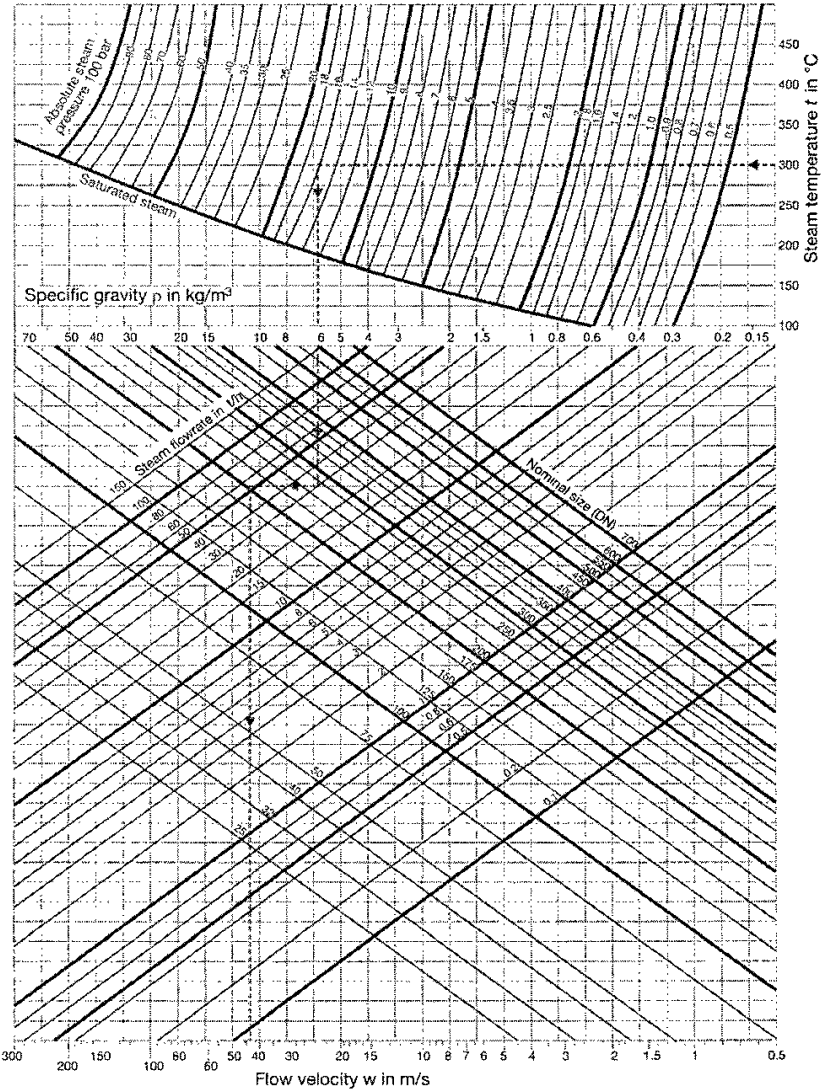
حجم بخار معادل ۶۲۸ متر مکعب بر ساعت خواهد بود

(d2×۲۵)/(۳۵۴)=۶۲۸

۹۴ = d mm

نزدیک‌ترین سایز به عدد بدست آمده DN100 یا "۴ است.

راه حل دیگر برای برای محاسبه سرعت بخار در لوله استفاده از نمودار شکل ۱۲-۱ است. به کمک نمودار می‌توان با توجه به دمای بخار و فشار آن نسبت به وزن بخار وسرعت حرکت بخار سایزهای مناسب لوله را محاسبه نمود. نمودار انتخاب سایز متشکل از محورهای عمودی، افقی، منحنی و خطوط مایلی است که با تقاطع دادن آنها می‌توان سایز مناسب را برگزید.



شکل۱۲-۱: نمودار انتخاب سایز لوله بخار

تمرین:

مطلوبست انتخاب سایز مناسب برای لوله جهت انتقال $۳۰ \frac{t}{hr}$ بخار سوپرهیت با دمای $۳۰۰^{\circ}C$ با فشار ۱۶bara

حل:

با مراجعه به نمودار ابتدا خطی از دمای ۳۰۰°C از سمت راست بالای نمودار به سمت چپ رسم کرده تا منحنی فشار معادل ۱۶bara را قطع کند از این نقطه خطی به پایین رسم کرده تا دبی بخار ($۳۰ \frac{t}{hr}$) را قطع نماید. سپس به سمت چپ حرکت کرده و با توجه به سرعت (محور افقی پایین نمودار) و با توجه به سرعت مجاز بخار سوپرهیت ($۴۰-۵۰ \frac{m}{s}$) در نمودار سایز صحیح را بر می‌گزینیم.

سایز DN200 مناسب است

- چنانچه بخار مورد نظر سوپرهیت نباشد از منحنی بخار اشباع در فشار مورد نظر خط را به سمت پایین رسم می‌کنیم و دیگر به محور دما احتیاجی نیست.

اندازه‌گذاری براساس افت فشار

افت فشار در خطوط انتقال بخار امری است اجتناب ناپذیر و از آنجاییکه اولاً باید فشار مورد نیاز تجهیزات را دقیقاً به میزان لازم تامین نمود و ثانیاً با افت فشار در خطوط انتقال بخار و با توجه به رابطه فشار و دما از آنجاییکه با کاهش فشار دما کاهش می‌یابد، محاسبه افت فشار(ΔP) در خطوط انتقال بخار فارغ از آنکه سرعت در داخل سیستم مجاز است یا خیر حائز اهمیت است.

برای محاسبه افت به ۲روش می‌توان عمل کرد. روش اول استفاده از فرمول محاسباتی و روش دوم که پر استفاده‌ترین روش است استفاده از جداول محاسباتی است.

استفاده از فرمول:

فرمول کلی محاسبهΔP در سیستم SI به شکل زیر است:

$$\Delta P = C \times \frac{\rho \times W^2}{2 \times 10^5} \qquad (۳-۱۲)$$

که در آن:

ΔP: افت فشار (bar)

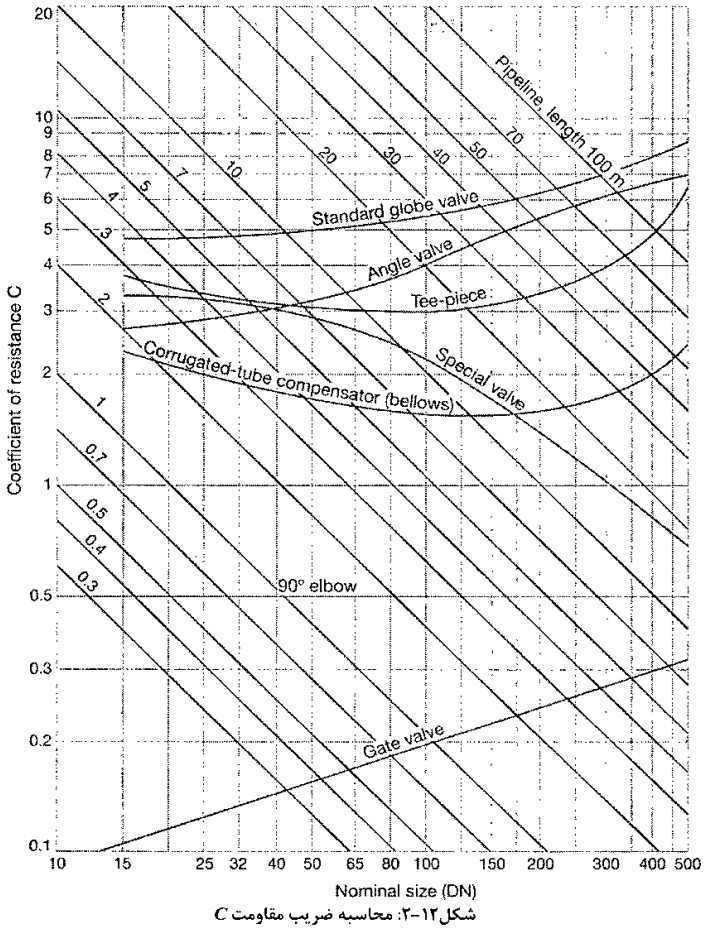
W: سرعت ($\frac{m}{s}$)

ρ: چگالی ($\frac{kg}{m^3}$)

C: ضریب مقاومت

استفاده از نمودار:

برای بدست آوردن افت به کمک نمودار شکل می‌بایست ابتدا ضریب مقاومت C را با توجه به سایز محاسبه نمود. برای محاسبه ضریب مقاومت C ابتدا از محور افقی پایین نمودار شکل ۱۲-۲ سایز خط انتقال بخار را پیدا می‌کنیم. سپس خطی عمودی به سمت بالا رسم کرده و در نقطه تقاطع با نوع شیر و اتصال مورد استفاده در خط انتقال ضریب مقاومت C را از محور عمودی سمت چپ استخراج می‌کنیم.



شکل۱۲-۲: محاسبه ضریب مقاومت C

سپس با مراجعه به نمودار شکل۱۲-۳ و جاگذاری ضریب مقاومت C، ΔP را محاسبه می‌کنیم. این مهم را با ذکر مثالی تشریح می‌کنیم.

انبساط خطوط انتقال بخار

اصولاً هنگامی که یک جسم تحت تاثیر حرارت قرار می‌گیرد اتم‌های آن به ارتعاش در می‌آیند و همانند یک نوسانگر حرکت نوسانی انجام می‌دهند. ولی حرکت آنها همانند یک نوسانگر هماهنگ نیست. به دلیل آنکه اگر فاصله اتم‌ها از حد معینی کمتر گردد علاوه بر نیروی کولنی، نیروی دفع هسته‌ای نیز روی اتم‌ها اثر می‌کند و در نتیجه دور شدن اتمها از یکدیگر بیشتر از نزدیک شدنشان به یکدیگر می‌باشد.

این تغییرات در مورد اتم‌های داخل جسم همدیگر را خنثی می‌کنند و فقط اتم‌های لبه جسم که از خارج نیرویی را حس نمی‌کنند دستخوش تغییرات می‌شوند و اتمهای داخلی هم به تبعیت از آنها مقداری انبساط پیدا می‌کنند و بدین ترتیب فاصله بین اتمها افزایش می‌یابد. در نتیجه این امر جسم منبسط می‌شود. این انبساط بسته به نوع جسم می‌تواند طولی، سطحی و یا حجمی باشد. حال چنانچه این جسم جامد لوله انتقال بخار باشد انبساط آن به شکل طولی ظاهر می‌شود زیرا با آنکه اتم‌های لوله در سه بعد ارتعاش دارند اما از آنجاییکه تعداد جفت اتم‌ها در یک راستا بیش از دو بعد دیگر است انبساط لوله طولی خواهد بود.

این انبساط طولی مطابق رابطه زیر خواهد بود:

$$\Delta L=\Delta\tau\times L\times\alpha \qquad (۴-۱۲)$$

که در آن :

ΔL: افزایش طول

$\Delta\tau$: اختلاف دما

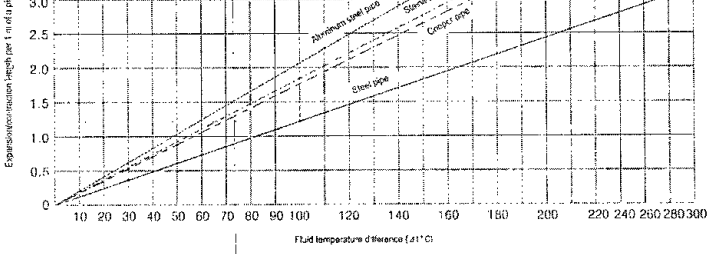
L: طول اولیه

α: ضریب انبساط طولی

ضریب انبساط طولی هر جسم افزایش طول واحد آن جسم به ازاء افزایش یک درجه دما است و آن را با α نشان می‌دهند.

استفاده از نمودار و جدول

همچنین می‌توان به کمک نمودار شکل۱۲-۴ و جدول۱۲-۷ با توجه به $\Delta\tau$ و طول لوله انتقال بخار ΔL را به‌سادگی به‌دست آورد.



شکل۱۲-۴: شماتیک عملکرد قطعه انبساطی منعطف

جدول۱۲-۷: محاسبه ΔL براساس Δt

Pipe type	Pipe length	Fluid temperature difference Δt °C																						Pipe length
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	
Steel pipe	1	0.122	0.244	0.366	0.488	0.61	0.732	0.854	0.976	1.1	1.22	1.34	1.46	1.59	1.71	1.83	1.95	2.07	2.2	2.32	2.44	2.56	2.68	1
	5	0.61	1.22	1.83	2.44	3.05	3.66	4.27	4.88	5.49	6.1	6.71	7.32	7.93	8.54	9.15	9.76	10.4	11.0	11.6	12.2	12.8	13.4	5
	10	1.22	2.44	3.66	4.88	6.1	7.32	8.54	9.76	11.0	12.2	13.4	14.6	15.9	17.1	18.3	19.5	20.7	22.0	23.2	24.4	25.6	26.8	10
	15	1.83	3.66	5.49	7.32	9.15	11.0	12.8	14.6	16.5	18.3	20.1	22.0	23.8	25.6	27.35	29.3	31.1	32.9	34.8	36.6	38.4	40.3	15
	20	2.44	4.88	7.32	9.76	12.2	14.6	17.1	19.5	22.0	24.4	26.8	29.3	31.7	34.2	36.6	39.0	41.5	43.9	46.4	48.8	51.2	53.7	20
	25	3.05	6.1	9.15	12.2	15.3	18.3	21.4	24.4	27.5	30.5	33.6	36.7	42.7	45.2	48.8	51.9	54.9	58.0	61.0	61.0	64.1	67.1	25
	30	3.66	7.32	11.0	14.6	18.3	22.00	25.6	29.3	32.9	36.6	40.3	43.9	47.6	51.2	54.9	58.6	62.2	65.9	69.5	73.2	76.8	80.5	30
	35	4.27	8.54	12.8	17.1	21.4	25.6	29.9	34.2	38.4	42.7	47.0	51.2	55.5	59.8	64.1	68.3	72.6	76.9	81.1	85.4	89.7	93.9	35
	40	4.88	9.76	14.6	19.5	24.4	29.3	34.2	39.0	43.9	48.8	53.7	58.6	63.4	68.3	73.2	78.1	83.0	87.8	92.7	97.6	102.5	107.4	40
Copper pipe	1	0.177	0.354	0.531	0.708	0.885	1.06	1.24	1.42	1.59	1.77	1.95	2.12	2.30	2.48	2.66	2.83	3.01	3.18	3.36	3.54	3.72	3.89	1
	5	0.885	1.77	2.66	3.54	4.43	5.31	6.2	7.1	7.97	8.85	9.74	10.6	11.5	12.4	13.3	14.2	15.1	15.9	16.8	11.7	18.6	19.5	5
	10	1.77	3.54	5.31	7.1	8.85	10.6	12.4	15.9	17.7	19.5	21.2	23.0	24.8	26.6	28.3	30.1	31.9	33.6	35.4	37.2	3	38.9	10
	15	2.66	5.31	7.97	10.6	13.3	15.9	18.6	21.2	23.9	26.6	29.2	31.9	34.5	37.2	39.8	42.5	45.1	47.8	50.5	53.1	55.8	58.4	15
	20	3.54	7.1	10.6	14.2	17.7	21.2	24.8	28.3	31.9	35.4	38.9	42.5	46.0	49.6	53.1	56.6	50.2	63.7	67.3	70.8	74.3	77.9	20
	25	4.43	8.85	13.3	17.7	22.1	26.6	31.0	35.4	39.8	44.3	48.7	53.1	57.5	62.0	66.4	70.8	75.2	79.7	84.1	88.5	92.9	97.4	25
	30	5.31	10.6	15.9	21.2	26.6	31.9	37.2	42.5	47.8	53.1	58.4	63.7	69.0	74.3	79.7	85.0	90.3	95.6	100.9	0.2	111.5	116.8	30
	35	6.2	12.4	18.6	24.8	31.0	37.2	43.4	49.6	55.8	62.0	68.2	74.3	80.5	86.7	92.9	99.1	105.3	111.5	117.7	123.9	130.0	136.3	35
	40	7.1	14.2	21.2	28.3	35.4	42.5	49.6	56.6	63.7	70.8	77.9	85.0	92.0	99.1	106.2	113.3	120.4	127.4	135.5	141.8	148.7	155.8	40
Stainless steel pipe	1	0.184	0.368	0.552	0.736	0.92	1.1	1.29	1.047	1.66	1.84	2.02	2.21	2.39	2.58	2.76	2.94	3.13	3.31	3.5	3.68	3.86	4.08	1
	5	0.92	1.84	2.76	3.68	4.6	5.52	6.44	7.36	8.28	9.2	10.1	11.0	12.0	12.9	13.8	14.7	15.6	16.6	17.5	18.4	19.3	20.2	5
	10	1.84	3.68	5.52	7.36	9.2	11.0	12.9	14.7	16.6	18.4	20.2	22.1	23.9	25.8	26.6	29.4	31.3	33.1	35.0	36.8	38.6	40.5	10
	15	2.76	5.52	8.28	11.0	13.8	16.6	19.3	22.1	24.8	27.6	30.4	33.1	35.9	38.6	41.4	44.2	46.9	49.7	52.4	55.2	58.0	60.7	15
	20	3.68	7.36	11.0	14.7	18.4	22.1	25.8	29.4	33.1	36.8	40.5	44.3	47.8	51.5	55.2	58.9	62.6	66.2	69.9	73.6	77.3	81.0	20
	25	4.6	9.2	13.8	18.4	23.0	27.6	32.2	36.8	41.4	46.0	50.6	55.2	59.6	64.4	69.0	73.6	78.2	82.8	87.4	92.0	96.6	101.2	25
	30	5.52	11.0	16.5	22.1	27.6	33.1	38.6	44.2	49.7	55.2	60.7	66.2	71.6	77.3	82.8	88.3	93.2	99.4	104.9	110.4	115.9	121.4	30
	35	6.44	12.9	19.3	25.8	32.2	38.6	45.1	51.5	58.0	64.4	70.8	77.3	83.7	90.2	96.6	103	109.5	115.9	122.4	128.8	135.2	141.7	35
	40	7.36	14.7	22.1	29.4	36.8	44.2	51.5	58.9	66.2	73.6	81.0	88.3	95.7	103	110.4	117.8	125.1	132.5	139.8	147.2	154.6	161.9	40

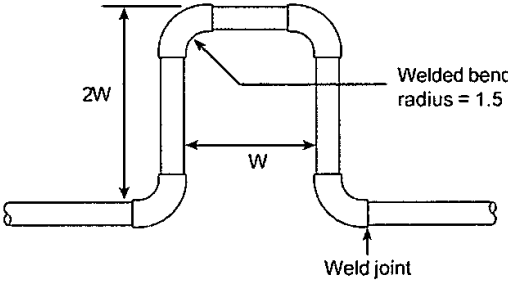
خنثی کردن انبساط طولی

این انبساط طولی ناشی از اختلاف دما در خطوط کوتاه توسط اتصالات و زانویی و.. رفع می‌گردد اما در خطوط با طول زیاد می‌بایست با ایجاد تغییرات و یا نصب تجهیزاتی این انبساط و انقباض ناشی از تغییرات دما را خنثی نمود.

بدین منظور یا می‌توان از خطوط لوله کمک گرفت و با ایجاد یک حلقه از خود لوله این انبساط یا انقباض را خنثی نمود و یا می‌بایست از تجهیزاتی مانند اتصالات آکادئونی و یا اتصالات لغزنده استفاده نمود.

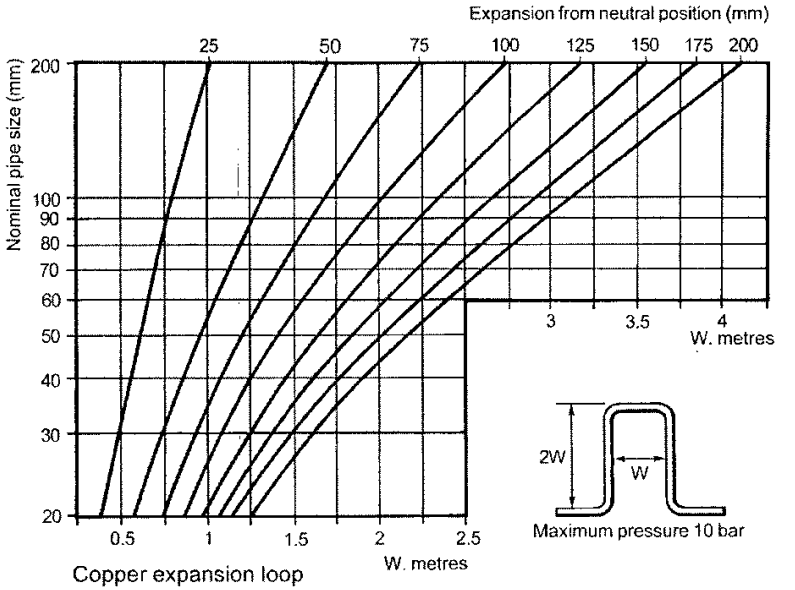
حلقه انبساطی

حلقه انبساطی به کمک لوله(همان سایز خط) و چهار زانوی ۹۰درجه ساخته می‌شود. این حلقه بنابر عرض و عمق آن توان خنثی سازی تنش را خواهد داشت.

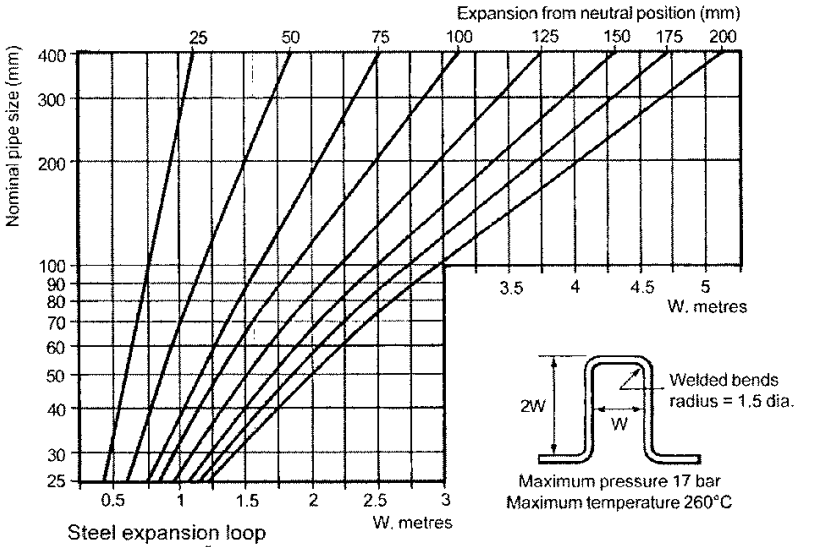


شکل۱۲-۵: شماتیک قطعه انبساطی

به کمک رابطه و شکل زیر می‌توان ابعاد صحیح آنرا محاسبه نمود:



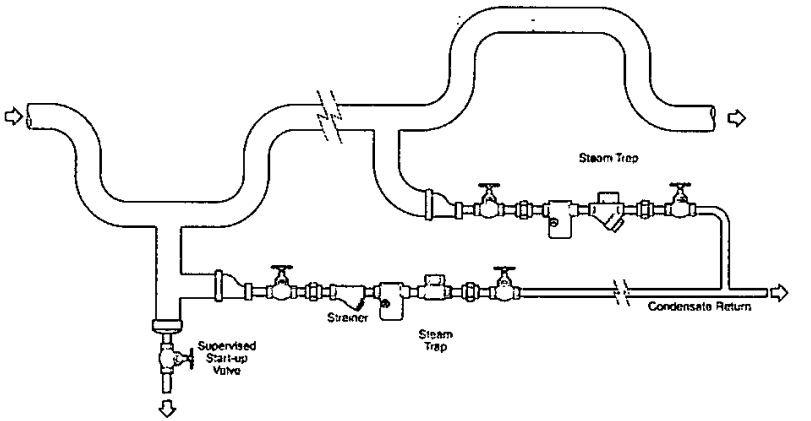
شکل۱۲-۶: نمودار انتخاب ابعاد حلقه انبساطی از لوله مسی



شکل۱۲-۷: نمودار انتخاب ابعاد حلقه انبساطی از لوله آهنی

از آنجاییکه احتمال گیر افتادن کندانس در حلقه‌های انبساطی وجود دارد می‌بایست با نصب دریپ‌لگ

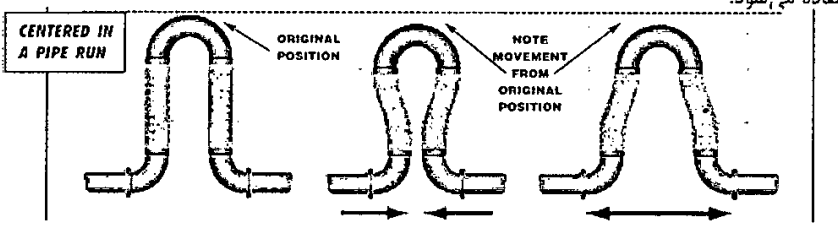
در زیر این حلقه آب ناشی از کندانس را برای جلوگیری از ضربه‌قوچ خارج نمود.



شکل۱۲-۸: شماتیک نصب دریپ لگ بر روی حلقه انبساطی

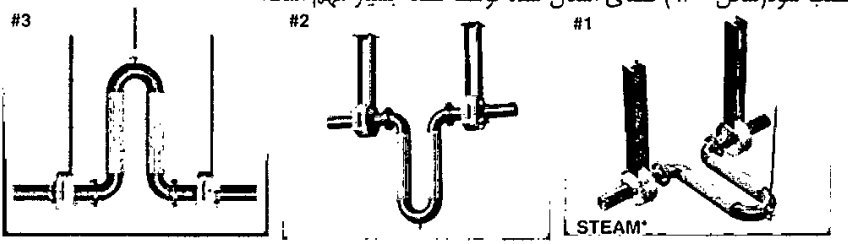
قطعه انبساطی منعطف

از لحاظ شکلی مشابه حلقه انبساطی بوده با این تفاوت که به جای لوله از اتصال اکاردئونی در آن استفاده می‌شود.



شکل۱۲-۹: شماتیک عملکرد قطعه انبساطی منعطف

این قطعه را می‌بایست براساس میزان انبساط طولی و سایز خط به کارخانه سازنده سفارش داده شود و امکان ساخت آن در سایت وجود ندارد. مزیت این قطعه نسبت به حلقه انبساطی ساخته شده با لوله در ابعاد آن است. زیرا از آنجاییکه برای جلوگیری از گیر افتادن کندانس قطعات انبساطی می‌بایست افقی نصب شود(شکل ۱#) فضای اشغال شده توسط قطعه بسیار مهم است.



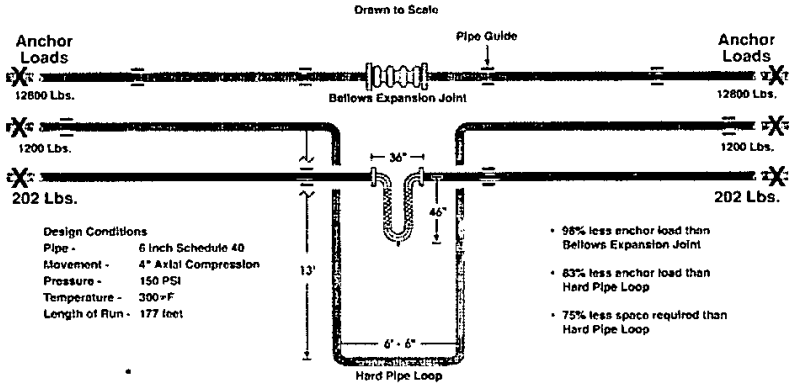
شکل۱۲-۱۰: انواع نصب قطعه انبساطی منعطف

اتصال آکادئونی

بدون شک پر مصرف‌ترین نوع اکسپنشن‌ها اتصال آکاردئونی است. این قطعه معمولاً به دو شکل مهاردار و بدون مهار تولید می‌شود. که در نوع مهاردار میله مهار از انبساط و یا انقباض بیش از حد قطعه جلوگیری می‌کند.

شکل۱۲-۱۱: اتصال آکادئونی ساخت SAMYANG

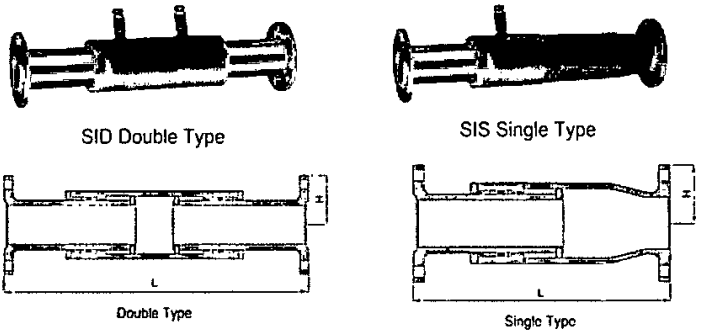
از لحاظ فضا اشغال شده توسط قطعه در خطوط بخار اتصال آکاردئونی به کمترین فضا نسبت به انواع دیگر احتیاج دارد.



شکل۱۲-۱۲: شماتیک انواع خنثی سازی انبساط طولی

اتصال اسلیپ

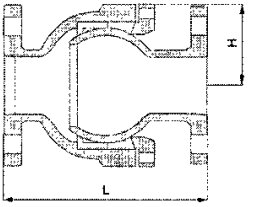
این قطعه می‌تواند به صورت تکی(Single) و یا دو تایی(Double) نصب گردد. این قطعه فضای بسیار کمی را اشغال می‌کند اما نصب آن دارای پیچیدگی‌هایی است که در صورت عدم رعایت آن قطعه خم شده و از کار می‌افتد.



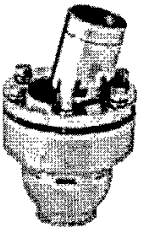
شکل۱۲-۱۳: قطعه اسلیپ ساخت SAMYANG

اتصال توپی Ball joint

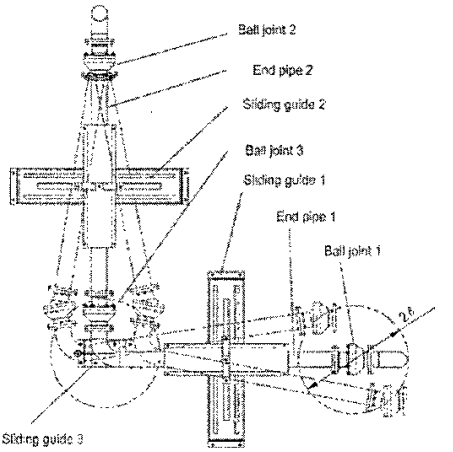
این قطعه قابلیت جذب انبساط طولی را ندارد و صرفاً امکان حرکت به طرفین را برای جذب انبساط در زاویه‌های دیگر فراهم می‌کند.



Grand Type



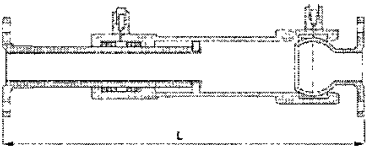
Grand Type



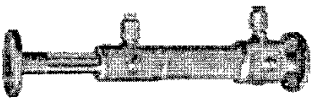
شکل۱۲-۱۴: شماتیک نصب Ball joint

قطعه مولتی (Slip-Ball joint)

این قطعه تلفیقی از دو قطعه پیش است که هم توان جذب انبساط طولی و هم توان جذب حرکت خط را دارد.



Single Type



شکل۱۲-۱۵: قطعه مولتی ساخت SAMYANG

اتصال هرز گرد[1]

این قطعه در اتصال خطوط بخار به پرس‌های دوار کاربرد فراوانی دارد.

چیدمان دیگ‌خانه

پس از سایز زنی خطوط بخار براساس سرعت و افت فشار و انتخاب سایز مناسب نوبت به لوله‌کشی از بویلر و یا بویلرها و اتصال آنها به کلکتور اصلی و از آنجا برای مصرف کننده‌های بخار است.

تولید بخار توسط دیگ‌های لوله دودی دارای محدودیت است و حداکثر توان تولید بخار توسط آنها می‌تواند تا $۷۰,۰۰۰ {lbs}/{hr}$ باشد. چنانچه به بخار بیشتری احتیاج باشد می‌بایست دو یا چند بویلر کنار هم نصب گردد. از طرفی همانطور که پیش‌تر گفتیم برای جلوگیری از چرخه کوتاه در عملکرد دیگ‌بخار بهتر است به جای استفاده از یک بویلر بزرگ از دو و یا چند بویلر کوچک‌تر استفاده شود. همچنین در موارد حساس که بخار به‌هیچ عنوان نمی‌تواند قطع گردد یک و یاچند بویلر به عنوان رزرو نصب می‌گردد.

بنابر شرایط فوق در دیگ‌خانه‌هایی که بیش از یک بویلر در آن باشد برای اتصال بویلرها به کلکتور مشترک باید به نکات زیر توجه نمود.

نصب شیر یک‌طرفه

برای جلوگیری از برگشت بخار از سمت بویلرهای در حال کار به سمت بویلر خاموش باید بعد از شیر اصلی یک شیر یک‌طرفه نصب نمود.

شیرهای یک‌طرفه به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند.۱) شیرهایی که صرفاً با جریان سیال باز و بسته می‌شوند.۲)شیرهایی که علاوه بر نیروی سیال توسط نیروی خارجی (فنر و یا وزنه) بسته می‌شوند.

برای خطوط بخار بهترین انتخاب شیر یک‌طرفه سوپاپی فنردار است. فنر موجود بر روی دیسک شیر کمک می‌کند اولاً زمان بسته شدن دیسک بسیار کوتاه و دقیق باشد و ثانیاً نوسانات جریان باعث ایجاد نشتی در آن نشود.

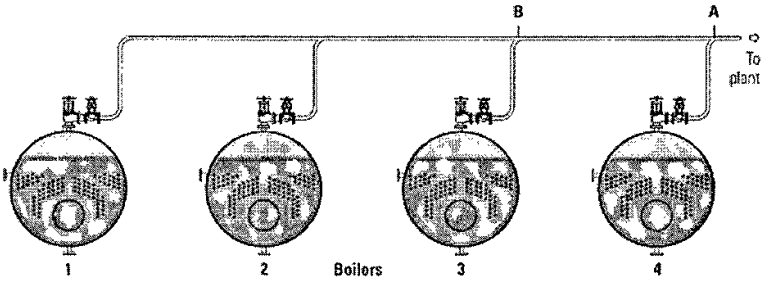
اتصال بویلرها به یکدیگر

همانطور که در مبحث افت فشار در در سیستم انتقال بخار توضیح دادیم افزایش طول خط باعث افزایش افت خواهد شد. بنابراین فاصله خروجی هر بویلر با خروجی خط اصلی می‌بایست برابر باشد. در غیر این صورت در فشارهای برابر بویلر نزدیک‌تر تولید بخار بیشتر و بویلر دورتر تولید بخار کمتری خواهد داشت. حال هرچه بویلرها بزرگ‌تر باشد و درنتیجه فاصله بیشترِ شود این تاثیر بیشتر شده و ممکن است آنقدر بار روی بویلر اول زیاد شود که به اصطلاح OVER LOAD کند. بعد از از کار افتادن این بویلر سیستم با افت فشار مواجه شده و امکان بروز OVER LOAD برای سایر دیگ‌ها را هم فراهم می‌کند و به یکباره کلاً سیستم از کار باز می‌ایستد.

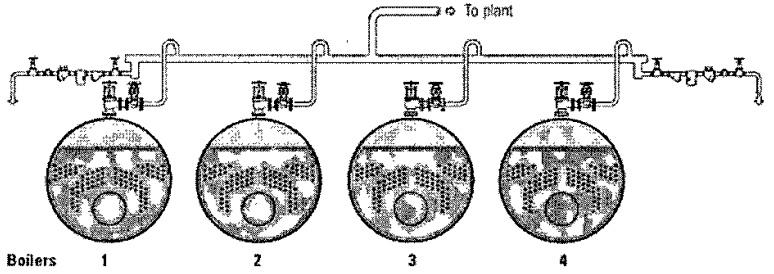
برای جلوگیری از بروز این مشکل بهتر آنست که خروجی بخار را به جای انتهای خط به میانه آن منتقل کنیم.

---

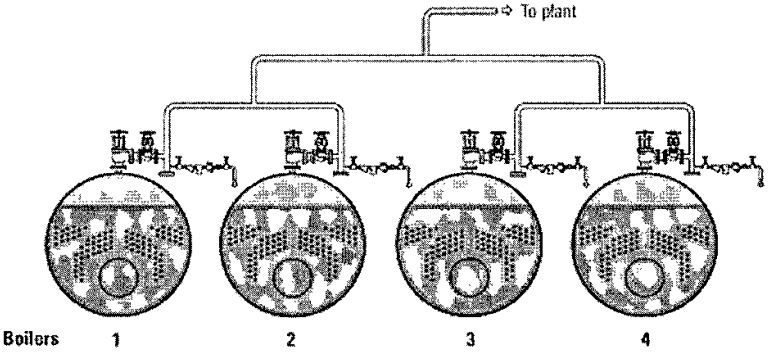
[1] فیلم آموزشی شماره۱۲-۱ را ببینید



شکل۱۲-۱۶: شماتیک اتصال ۴ بویلر(غلط)



شکل۱۲-۱۷: شماتیک اتصال ۴ بویلر (صحیح)

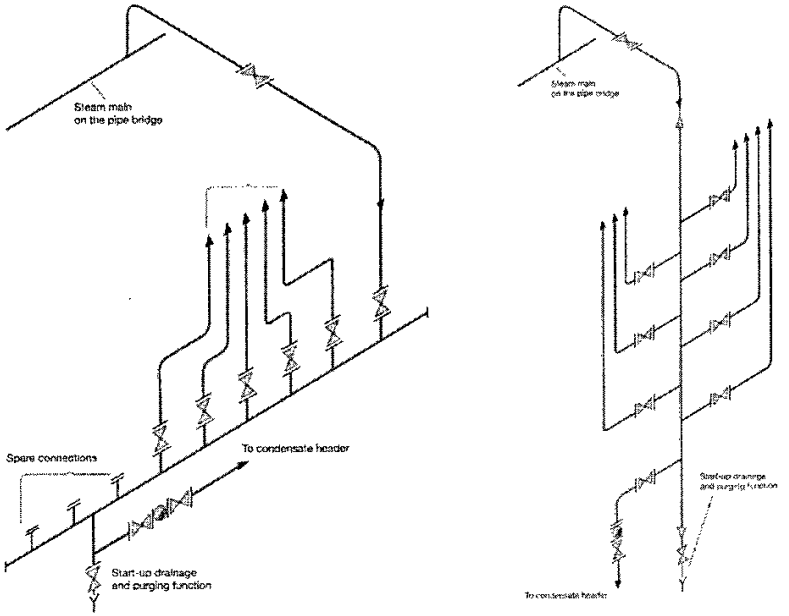


شکل۱۲-۱۸: شماتیک اتصال ۴ بویلر (بهترین حالت)

کلکتور اصلی

بخار بویلر یا بویلرها برای ارسال به نقاط مختلف مصرف ابتدا وارد کلکتور اصلی بخار می‌شود. سایز کلکتور باید به گونه انتخاب شود که در بار کامل(FULL LOAD) سرعت حرکت بخار در آن از $15\ ^{m}/_{s}$ بیشتر نشود. سرعت پایین بخار در کلکتور کمک می‌کند تا بتوان آب موجود در بخار را ته‌نشین و با توجه به نصب کلکتور با شیب منفی از طریق تله‌بخار آنرا خارج نمود. چنانچه بعد از هر بویلر سپریتور نصب

شده باشد این آب را می‌توان به سیستم کندانس باز گرداند در غیر این صورت می‌بایست آن را به فاضلاب منتقل نمود. همچنین یک شیر (عموماً از نوع ربع گرد) در کنار مدار تله‌بخار برای زمان راه‌اندازی نصب می‌گردد.

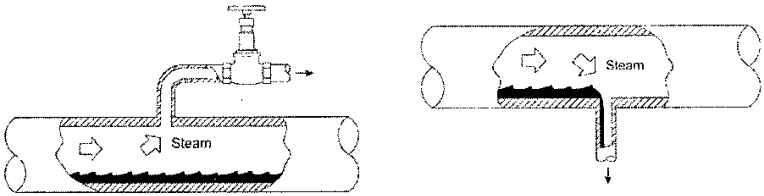


شکل ۱۲-۱۹: دیاگرام کلکتور عمودی و افقی

کلکتور می‌تواند به صورت عمودی و یا افقی نصب گردد که در هر حالت می‌بایست توان تحمل حد اکثر فشار عملکرد سیستم را داشته باشد و سرعت حرکت بخار در آن از $15\ m/s$ بیشتر نشود. انشعاب ورودی بخاز از بویلر و خروجی بخار به سمت مصرف کننده‌ها همواره از بالای کلکتور گرفته می‌شود تا بدین ترتیب از خروج آب به همراه بخار به سمت مصرف کننده‌ها جلوگیری شود.

انشعاب از خطوط انتقال

انشعاب‌های فرعی از خطوط انتقال بخار می‌بایست از بالا صورت گیرد و در صورت اتصال به شیرهای کنترل برای آن تله‌بخار برای خروج آب ناشی از کندانس نصب گردد.



شکل ۱۲-۲۰: شماتیک انشعاب بخار

راه‌اندازی

زمانی که سیستم خاموش می‌شود تمام لوله‌های انتقال بخار و فلنچ‌ها و شیرآلات و ... سرد می‌شود و با دمای محیط هم‌دما می‌گردد.

بعد از استارت مجدد سیستم و ورود بخار با گرم شدن سیستم همانطور که پیش‌تر گفتیم انبساط طولی به‌وجود خواهد آمد. حال چناچه سرعت این اتفاق سریع باشد تنش‌های حرارتی ممکن است موجب ایجاد نشتی در سیستم شود و در موارد حاد ممکن است باعث ایجاد شکستگی گردد.

از طرف دیگر چنانچه بخار بویلر را به یک‌باره وارد سیستم انتقال کنیم اختلاف دما باعث تبدیل سریع بخار به کندانس خواهد شد و در نتیجه فشار کاهش پیدا خواهد کرد. این اتفاق دو مشکل اساسی به‌وجود خواهد آورد.

۱- ضربه‌قوچ

همانطور که پیش‌تر گفتیم سرعت حرکت بخار در خطوط انتقال ۱۰ برابر سرعت مجاز حرکت آب است حال چنانچه به یک باره کندانس زیادی در خط به‌وجود بیاید امکان خارج کردن کامل این کندانس مشکل است و از طرف دیگر افت فشار بخار باعث افزایش حجم بخار شده و در نتیجه سرعت حرکت بخار را به‌شدت افزایش می‌دهد. (برای مثال در یک خط بخار با سایز DN80 برای انتقال $۲۰۰۰ \frac{kg}{hr}$ بخار 10barg سرعت بخار نزدیک به $۲۰ \frac{m}{s}$ است اما سرعت حرکت همین مقدار بخار در همین سایز در 3barg نزدیک به $۵۰ \frac{m}{s}$ است)

آبی که با سرعت بالا همراه با بخار حرکت می‌کند به بروز ضربه سهمگین قوچ می‌انجامد.

۲- مرطوب شدن بخار

کاهش ناگهانی فشار بویلر ناشی از تبدیل مقدار زیادی از بخار به کندانس برابر با افزایش تقاضای بخار از بویلر است. همانطور که توضیح دادیم این اتفاق باعث مکیدن آب بویلر به داخل سیستم می‌شود.

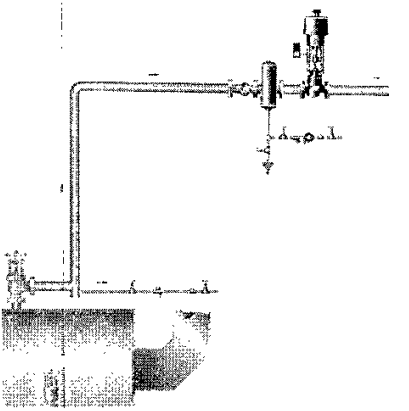
پیش گرم[1]

راه حل این مشکل وارد کردن بخار بویلر به طور آهسته و با کنترل به داخل سیستم است. این کار در دیگ‌خانه‌های کوچک توسط اپراتور و با باز کردن آرام شیراصلی بویلر صورت می‌گیرد اما در دیگ‌خانه‌های بزرگ اجرای این کار امری است مشکل. زیرا با باز کردن تنها ۱۰٪ از شیر اصلی تقریباً ۸۰ ٪ گذر بخار از آن صورت می‌گیرد و در نتیجه امکان پیش گرم کردن سیستم به صورت دستی بسیار مشکل است.

به همین علت در دیگ‌خانه‌های بزرگ از شیر کنترل با سیستم زمانی بهره می‌گیرند. به این صورت که ابتدا بویلر را روشن کرده و شیر را در حالت بسته نگه می‌دارند تا فشار بویلر به فشار ست شده برسد. سپس سیستم کنترل شیر کنترل را به آهستگی باز می‌کند و بخار را به آرامی وارد سیستم می‌کند. بدین ترتیب اولاً بویلر با افت شدید فشار روبرو نمی‌شود و ثانیاً میزان کنترل شده ورود بخار به داخل سیستم و در نتیجه تشکلیل کندانس ناشی از آن به‌سادگی توسط دریپ‌لگ‌ها و تله‌های بخار نصب شده روی خط

1- Warm-up

خارج می‌شود و از بروز ضربه‌قوچ جلوگیری می‌کند.



شکل ۱۲-۲۱: شماتیک نصب شیر کنترل بعد از شیر اصلی بویلر

زمان و بخار مورد نیاز

زمان و بخار مورد نیاز برای WARM-UP سیستم با هم رابطه مستقیم دارند. چنانچه این زمان را ۲ برابر کنیم مثلا از ۱۰ دقیقه به ۲۰ دقیقه افزایش دهیم به ۵۰٪ بخار کمتری نیاز است.

که آنرا می‌توان از جدول زیر محاسبه نمود. این جدول میزان کندانس تشکیل شده در طول ۵۰ متر لوله در زمان راه‌اندازی و بهره‌برداری را براساس لوله عایق شده در فشارهای مختلف نشان می‌دهد.

جدول۱۲-۸: میزان کندانس تشکیل شده در خطوط بخار($\frac{kg}{hr}$)

Steam pressure	Nominal pipe size mm										
bar g	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400
1	5.4	8.6	11.2	16	22	28	44	60	80	94	123
	4.8	***5.4***	***6.8***	***8.5***	***10.3***	***13***	***16***	***19***	***23***	***25***	***28***
5	8.2	13	17	24	33	42	63	70	119	142	185
	7.3	***8.9***	***10.5***	***13***	***17***	***20***	***24***	***30***	***36***	***40***	***46***
7	8.7	13.8	18	26	35	45	68	97	128	151	198
	8.2	***10.2***	***12***	***15***	***19***	***23***	***28***	***35***	***42***	***46***	***52***
10	9.9	16	20	29	40	51	77	109	144	171	224
	9.8	***12***	***15***	***17***	***21***	***25***	***33***	***41***	***49***	***54***	***62***
14	10.9	17	23	32	44	57	85	120	160	189	247
	10.2	***14***	***17***	***20***	***26***	***30***	***39***	***49***	***58***	***64***	***73***
18	17	23	31	45	62	84	127	187	255	305	393
	15	***16***	***19***	***24***	***30***	***36***	***44***	***55***	***66***	***72***	***82***

فصل ۱۳
تجهیزات و شیرآلات

عملکرد صحیح دیگ‌خانه‌های بخار و آب‌گرم منوط به استفاده از تجهیزاتی است که بـه کمـک آنهـا عملکرد صحیح سیستم امکان‌پذیر است.

این تجهیزات شامل بخش‌های مختلفی است که از آن‌جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- شیرآلات

شیر کشویی، شیر سوزنی، شیرپروانه‌ای، شیراطمینان، شیر فشارشکن، شـیر کنتـرل، شـیر یـک‌طرفـه، صافی، خلاءشکن، ایرونت، سپریتور و...

- تجهیزات کنترل و اندازه‌گیری

پرشر گیج، پرشرسوئیچ، ترموتر، لول گیج، لول سوئیچ، ترموستات و....

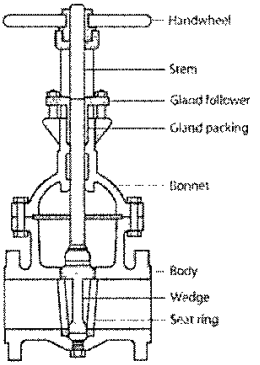
- تله‌بخار
- پمپ

شیر[1]

شیرها وسیله‌ای هستند که برای قطع و وصل جریان سیال و یا برای تنظـیم جریـان از آنهـا اسـتفاده می‌شود. عملکرد شیر می‌تواند به صورت دستی و یا اتوماتیک باشد. شیرها انواع مختلفـی دارنـد و جـنس مواد بکار رفته در آنها بسیار متنوع است. در مبحث پیشرو به طور اجمالی به شـیرهایی کـه در دیـگ‌خانـه مورد استفاده قرار می‌گیرند خواهیم پرداخت.

شیر یک وسیله مکانیکی است که برای کنترل جریـان سـیال و فـشار در یـک سیـستم و یـا فرآینـد استفاده می‌شود. یک شیر می‌تواند برای باز و بسته کردن کل جریان و یـا عبـور دادن مقـادیر مختلـف از جریان سیال مورد استفاده قرار گیرد. شیرها دارای انواع مختلفی هستند اما همگی در قسمت‌هـای اصـلی یکسان هستند.

1- Valve-

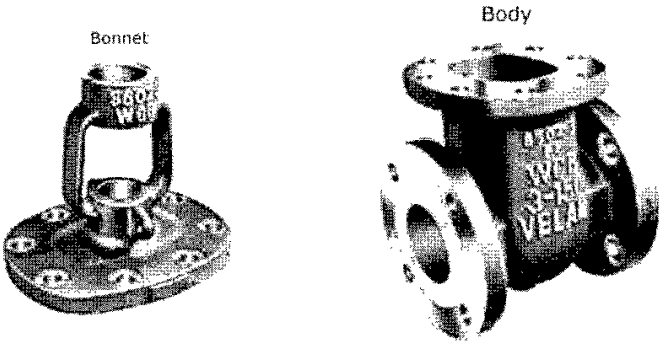


شکل ۱۳-۱: قسمت‌های اصلی یک شیر

قسمت‌های اصلی یک شیر شامل موارد زیر است:[1]

۱- بدنه[2]: بدنه یا پوسته، محدوده اولیه قرارگیری فشار بر روی یک شیر است. بدنه در واقع قسمت اصلی یک شیر است و قطعات را در کنار یکدیگر نگه می‌دارد. پوسته شیر می‌تواند به صورت ریخته‌گری و یا به صورت فورج در اشکال مختلف ساخته شود. از نظر تئوری اشکال کروی و استوانه‌ای، مقاومت بیشتری در مقابل فشار سیال هنگامی که شیر باز است دارند.

۲- سرپوش[3]: سرپوش همانطور که از نام آن پیداست قطعه‌ای است که پوشاننده بدنه ولو است و بعضاً به نام کلاهک نیز نامیده می‌شود. سرپوش می‌تواند به صورت ریخته گری و یا به صورت فورج ساخته شده باشد و معمولاً از همان جنس بدنه ساخته می‌شود. سرپوش شیر یا به صورت رزوه‌ای و یا به صورت جوشی و یا به وسیله پیچ به بدنه متصل می‌شود.



شکل ۱۳-۲: بدنه و سرپوش شیر

۳-دیسک و سیت[4]: دیسک به عنوان مسدودکننده جریان یکی از مهم‌ترین بخش‌های یک شیر

---

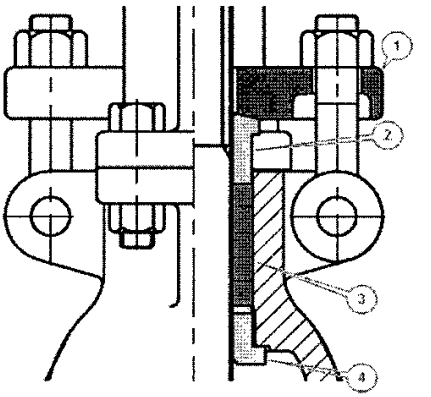
[1] فیلم آموزشی شماره۱۳-۱ را ببینید

2 Body
3- bonnet

است. زمانی که دیسک در حالت بسته است فشار اصلی سیستم بر روی دیسک وارد می‌شود و دیسک باید بتواند علاوه بر تحمل فشار به شکل صحیح بر روی سیت بنشیند از نشتی سیال جلوگیری کند.

۴- محور(ساقه): تغییر موقعیت دیسک به وسیله یک نیروی خارجی مانند نیروی دست انسان و یا نیروی نئوماتیکی و... انجام می‌شود. وظیفه محور، اتصال دیسک به این محرک است. محورها اصولاً به صورت فورج ساخته می‌شوند و به صورت رزوه‌ای و یا به کمک جوش به دیسک اتصال پیدا می‌کنند. محور شیر می‌تواند به دو صورت بالا رونده و غیر بالا رونده ساخته شود. در نوع بالا رونده با باز و بسته شدن شیر محور به بالا و پایین حرکت می‌کند اما در نوع غیر بالا رونده محور تنها می‌چرخد و به سمت بالا و پایین حرکت نمی‌کند.

۵- آب بند: برای جلوگیری از نشتی سیال به بیرون از شیر تمام شیرها مجهز به آب‌بند هستند. آب‌بندها معمولاً از جنس الیافی و یا تفلونی ساخته می‌شوند و از اجزاء بسیار مهم شیر هستند.



1. Gland Follover 2. Gland 3. Stuffing Box with Packing 4. Back Seat

شکل ۱۳-۳: واقعی و برش خورده شیر کشویی

۶- محرک: محرک شیر می‌تواند به صورت دستی، عملگر نئوماتیکی، موتور الکتریکی، بوبین برقی و یا عملگر هیدرولیکی باشد.(فیلم آموزشی ۱۳-۱و۲ را ببینید)

شیرها از نظر نوع کنترل جریان به ۴ شکل اصلی تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱- برشی از یک صفحه تخت، استوانه‌ای و یا صفحه کروی در سرتاسر قطر یک دریچه(شیر کشویی)

۲-گردش یک دیسک یا قطعهٔ بیضوی حول یک شفت در سرتاسر قطر یک دریچه(شیر ربع گرد)

۳- حرکت یک دیسک یا توپی به سمت داخل یا خلاف دریچه(شیر سوزنی)

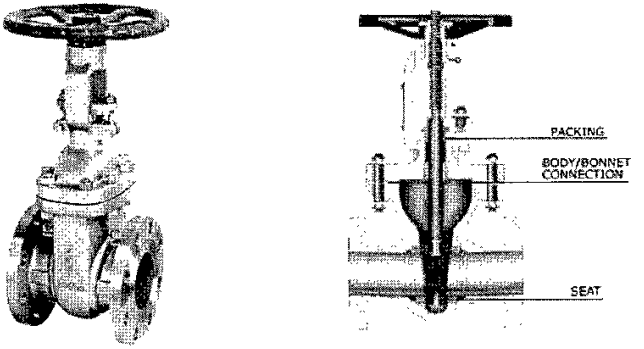
۴- حرکت یک جسم قابل انعطاف در داخل شیر(شیر دیافراگمی)

شیرکشویی[1] (دروازه‌ای)

همانطور که از نام آن پیداست کنترل قطع و وصل جریان در آن به کمک یک دروازه صورت

1 Gate Valve

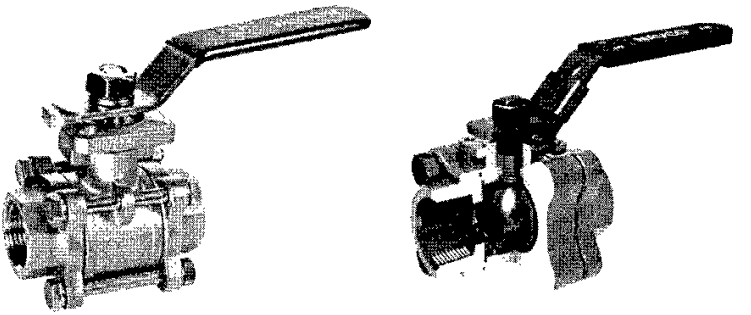
می‌گیرد. جهت جریان در آنها به شکل صاف و مستقیم است و این بدان معناست که شیر می‌بایست به صورت کاملاً باز و یا کاملاً بسته مورد استفاده قرار گیرد و در حالت نیمه باز کارایی لازم را ندارد. جریان مستقیم در این شیرها سبب می‌شود افت فشار بسیار ناچیزی در آنها اتفاق بی‌افتد.[۱]



شکل ۱۳-۴: واقعی و برش خورده شیر کشویی

شیر ربع گرد (توپی)[۲]

جهت جریان در این نوع شیرها مشابه شیر کشویی بوده امّا به جای دروازه یک جسم کروی داخل شیر تعبیه شده است که می‌تواند با یک چرخش ۹۰ درجه‌ای مسیر را مسدود کند. بنابراین در حالت نیمه باز جهت جریان دیگر مستقیم نخواهد بود.



شکل ۱۳-۵: واقعی و برش خورده شیر ربع گرد

دسته شیرهای ربع‌گرد معرف باز یا بسته بودن آنهاست. بدین ترتیب که چنانچه دسته شیر با بدنه شیر زاویه ۹۰ درجه را بسازد شیر بسته است و در حالت موازی شیر باز است.

---

[۱] فیلم آموزشی شماره۱۳-۳ را ببینید

[۲] فیلم آموزشی شماره۱۳-۴ را ببینید

تقسیم‌بندی شیرهای ربع گرد

از لحاظ اریفیس: چنانچه جسم کروی داخل شیر به اندازه قطر لوله باشد به آن Full- Bore وچنانچه کوچک‌تر باشد به آن Reducc-Bore می‌گویند. در نوع Full-Bore به دلیل عدم تغییر مسیر حرکت سیال در هنگام باز بودن شیر، افت کمتری متوجه سیال خواهد شد. البته این نوع شیر ربع گرد قدری گران‌تر از نوع Reduced Bore است.

ازلحاظ نوع بدنه: شیرهای ربع‌گرد از نظر شکل بدنه به انواع یک تکه ، دو تکه و سه تکه تقسیم‌بندی می‌شوند. در نوع یک‌تکه بدنه شیر یک‌تکه می‌باشد و جسم کروی در داخل آن جایگذاری شده است. در انواع دیگر بدنه شیر۲ و یا ۳ تکه‌ای بوده و به کمک پیچ به یکدیگر متصل شده است.

از لحاظ تعداد ورود و خروج: شیرهای ربع گرد از لحاظ تعداد راه‌های ورود و خروج می‌توانند دوراهه ، سه‌راهه، چهار راهه و پنج‌راهه باشد.

مزایا:

قابلیت نصب عملگر: عملکرد ربع‌گرد آنها سبب می‌شود بتوان به‌سادگی بر روی آنها عملگر نئوماتیکی و یا برقی نصب نمود و آنها را به صورت اتوماتیک درآورد و توسط کنترلرها وPLC کنترل نمود.

نشتی جزئی: قرار گرفتن جسم کروی در داخل شیر سبب می‌شود این نوع از شیرها در مقابل نشتی مقاوم باشند و به همین دلیل است که بعضاً به این نوع شیر، شیر ضد حریق اطلاق می‌شود.

قیمت:این نوع شیر با قیمت مناسب به یک شیر کنترل تبدیل می‌شود.

ظرفیت بالا: cv شیرهای ربع گرد بالا بوده و در سایزهای برابر نسبت به شیرهای سوزنی ظرفیت بالاتری دارند.

استفاده مکرر: در مواردی که احتیاج به باز و بسته کردن مداوم شیر وجود داشته باشد به علت مقاومت مناسب شیر در مقابل نشتی و امکان باز و بسته کردن سریع آن شیرهای ربع‌گرد انتخاب اول هستند.

جریان فوری: در مواردی مانند سیستم‌های خنک‌کننده که جریان زیاد و فوری مورد نیاز است می‌توان به کمک شیرهای ربع‌گرد این نیاز را تامین نمود.

شیر مجرابند[1]

این شیر برای کنترل مناسب نیست و باید در حالت بسته و یا کاملاً باز باشد. ساختمان آن ساده ودارای یک بدنه ویک پلاگ توپی است که در آن سوراخی برای عبور سیال تعبیه شده ومجهز به یک کلاهک آب‌بندی می‌باشد.

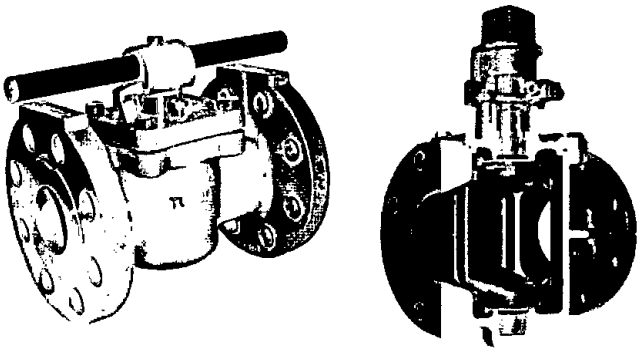
پلاگ را به اشکال مختلف می‌سازند. معمول‌ترین آن به صورت یک مخروط ناقص ساخته شده است. با چرخش مخروط توسط اهرم بالای شیر و قرار گرفتن سوراخ آن روبروی لوله مسیر گشوده شده و جریان سیال از آن عبور می‌کند.

این نوع شیر دارای انواع گوناگونی بوده و ممکن است سه‌راهه وچهار راهه آنها برای انتخاب مسیر جریان وجود داشته باشد.

در بعضی از شیرهای سماوری آب‌بندی پلاگ با بدنه بوسیله نوعی خمیر گرافیت انجام می‌گیرد. این

1- Plug Valve

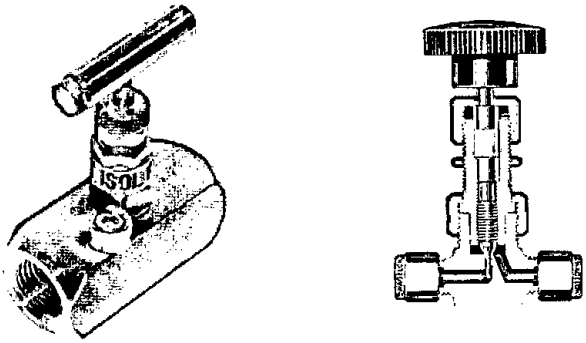
خمیر از سر پلاگ تزریق شده و به وسیله پیچی که روی آن بسته می‌شود. خمیر به داخل شیارهایی که روی پلاگ تعبیه شده نفوذ کرده و به‌صورت فیلمی از خمیرها به بدنه و پلاگ قرار می‌گیرد. این عمل علاوه‌برآب‌بندی کردن باعث روان چرخیدن پلاگ شده و از سائیدگی و نیز فساد تدریجی پلاگ و بدنه جلوگیری می‌کند[1].



شکل ۱۳-۶: واقعی و برش خورده شیر مجرابند

شیر سوزنی

شیرهای سوزنی برای تنظیم دقیق جریان سیال عبوری مورد استفاده قرار می‌گیرند. در انتهای دیسک این شیرها یک قسمت مخروطی بلند شبیه سوزن وجود دارد که به کمک آن گذر جریان کم و یا زیاد و یا کلاً مسدود می‌گردد.

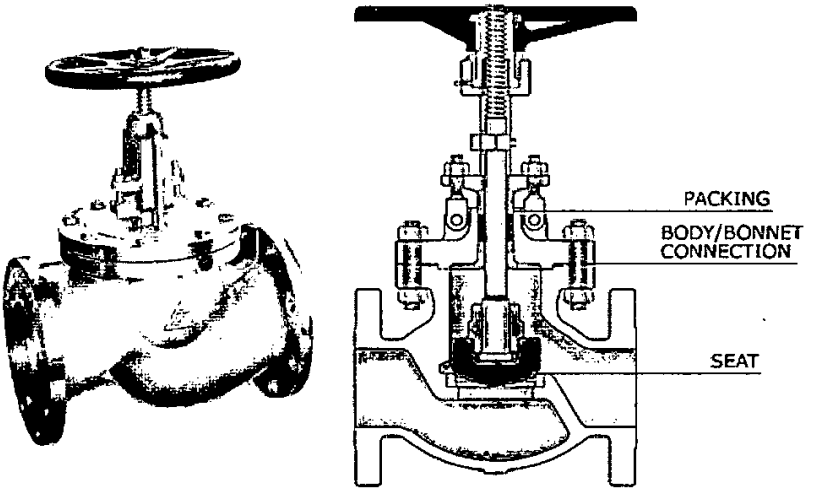


شکل ۱۳-۷: واقعی و برش خورده شیر سوزنی

۱. فیلم آموزشی شماره۱۳-۵ را ببینید

شیر گلاب[1]

شیرهای گلاب در کشورمان به صورت یک غلط مصطلح به شیرهای سوزنی معروف‌اند. بدون شک پرکاربردترین نوع شیر در سیستم‌های بخار شیر گلاب است. مسیر جریان در داخل شیرهای گلاب به صورت مستقیم نبوده و یک دیسک در محل تغییر جریان وظیفه باز و بسته کردن مسیر را به عهده دارد. این دیسک به کمک فشار ساقه شیر در خلاف جهت جریان سیال بسته می‌شود. بنابراین در فشارهای بالا برای بستن شیر به نیروی زیادی احتیاج است. حرکت عمودی دیسک به سمت سیت در این شیرها کمک می‌کند فضای بین دیسک و سیت تدریجاً بسته شود و در نتیجه به کاربر اجازه کنترل جریان گذرکننده از شیر را می‌دهد. بنابراین گلاب ولو علاوه بر باز و بسته کردن جریان برای تنظیم جریان نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد به‌دلیل نوع عملکرد شیر گلاب ورود و خروج آن در زمان نصب باید با دقت کنترل شود تا شیر به صورت بر عکس نصب نشود.



شکل ۱۳-۸: واقعی و برش خورده شیر گلاب *Z-BODY*

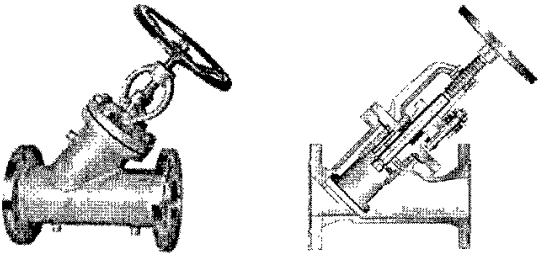
طراحی بدنه شیرهای گلاب می‌تواند به سه صورت زیر صورت گیرد:

- Z-BODY
- Y-BODY
- ANGLE BODY

در نوع Z-BODY که پرکاربردترین نوع شیر است دیافراگم یا صفحه جداکننده در سرتاسر بدنه که شامل نشیمنگاه هم می‌شود به شکل Z می‌باشد.

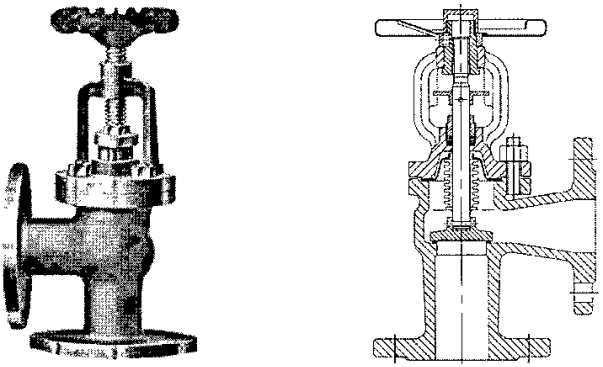
در نوع Y-BODY زاویه ۴۵ درجه شیر به خنثی سازی بخشی از نیرو کمک می‌کند و در نتیجه شیر برای قرارگیری در فشارهای بالا مناسب می‌باشد.

1- Globe Valve



شکل ۱۳-۹: واقعی و برش خورده شیر گلاب *Y-BODY*

شیرهای نوع ANGLE BODY علاوه بر آنکه یک شیر هستد جهت جریان را ۹۰ درجه تعویض می‌کنند و همانند یک زانویی روی خط بخار عمل می‌کنند. شیر اصلی روی بویلرهای بخار نیز از همین نوع است.



شکل ۱۳-۱۰: واقعی و برش خورده شیر گلاب *ANGLE BODY*

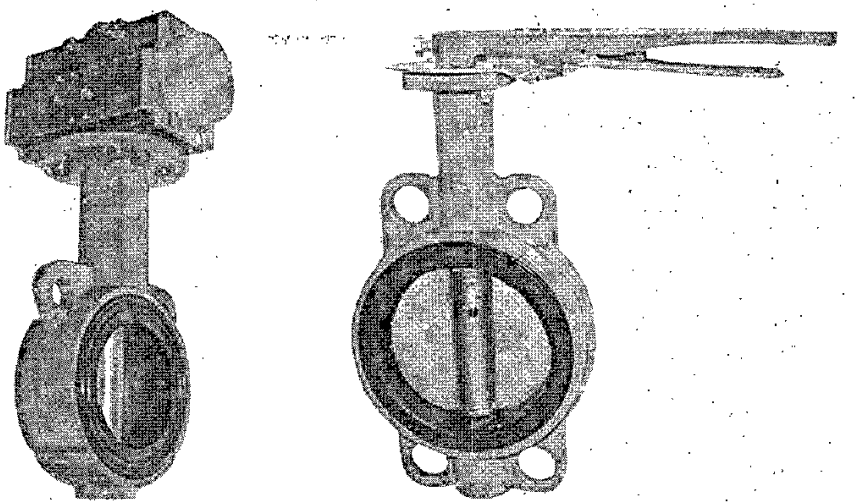
شیر پروانه‌ای[۱]

شیر پروانه‌ای مناسب‌ترین نوع شیر برای جریان‌های بالا است. در داخل شیر یک صفحه دایره‌ای شکل قرار دارد که حول محوری که از بالا به دسته شیر و از پایین به بدنه متصل شده می‌چرخد. از آنجاییکه در سایزهای بزرگ امکان باز و بسته کردن شیر به صورت دستی وجود ندارد از نیروی الکتریکی و یا نئوماتیکی برای باز و بسته کردن شیر استفاده می‌شود.

---

[۱] Butterfly Valve.

فیلم آموزشی شماره۱۳-۶ را ببینید

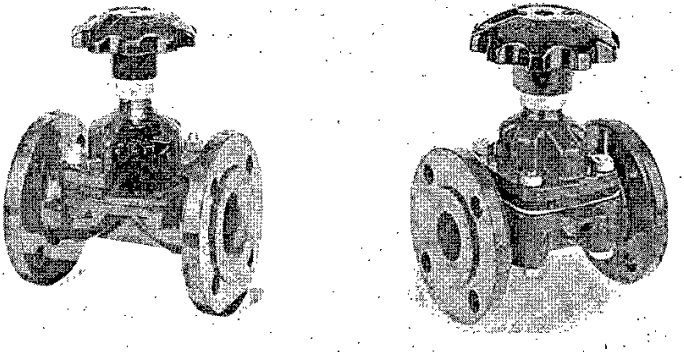


شکل ۱۳-۱۱: شیر پروانه‌ای با عملکرد دستی و نئوماتیک

شیر دیافراگمی[1]

در این شیر یک دیافراگم قابل انعطاف توسط یک میله(Stud)که با دیافراگم بصورت یکپارچه می‌باشد به قسمت فشار دهنده (کمپرسور) شیر متصل گردیده است. فشار دهنده (کمپرسور) به‌وسیله Stem شیر به بالا و پایین حرکت می‌کند. هنگامی که فشار دهنده (کمپرسور) به سمت بالا حرکت کند، دیافراگم به بالا کشیده می‌شود و اگر کمپرسور به پایین برود آنگاه دیافراگم نیز به پایین رفته و شکل انتهایی شیر را به خود می‌گیرد.

با دقت در ساختمان شیرهای دیافراگمی می‌توان متوجه شد که نشت سیال از اجزاء آن به حداقل می‌رسد. عمر مفید این نوع شیرها نسبت به سایر شیرها نیز بالاست. از عیب‌های آن می‌توان به محدودیت دما و فشار کاری آنها اشاره نمود.



[1] فیلم آموزشی شماره۱۳-۷ را ببینید.

شکل ۱۳-۱۲: واقعی و برش خورده شیر دیافراگمی

تقسیم‌بندی انواع شیرهای دیافراگمی

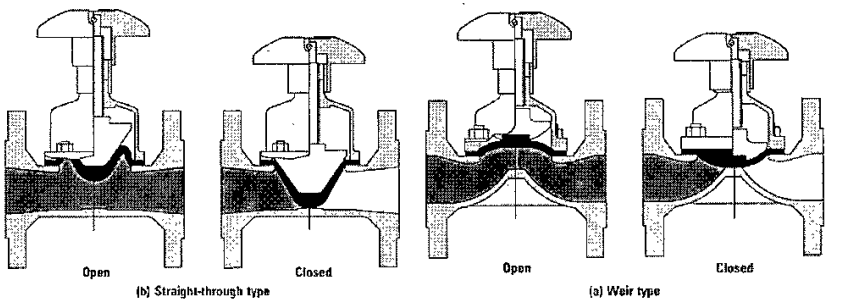
شیرهای دیافراگمی براساس شکل بدنه به دو گروه تقسیم‌بندی می‌شوند:

شیر دیافراگمی با برآمدگی داخل بدنه[1]

در این نوع از شیرهای دیافراگمی یک قسمت برآمدگی در داخل بدنه به‌صورت ریخته‌گری تعبیه شده است که در هنگام بسته شدن شیر، دیافراگم بر روی این برآمدگی می‌نشیند و عبور جریان را مسدود می‌کند. این نوع شیر دیافراگمی برای کنترل جریان گزینه مناسبی بوده ولی عیب آن محدود بودن منطقه عبور سیال است.

شیر بدون برآمدگی داخل بدنه [2]

در این نوع شیرها بدنه شیر برآمدگی ندارد و دیافراگم است که به صورت یک شکل گوه‌ای در می‌آید و مسیر را مسدود می‌کند.



شکل ۱۳-۱۳: عملکرد انواع شیر دیافراگمی

عمر مفید دیافراگم بستگی به نوع، دما و فشار سیالی دارد که از داخل شیر می‌گذرد و همچنین تعداد دفعات استفاده از شیر در عمر دیافراگم متاثر است. در بعضی از انواع مواد تشکیل دهنده دیافراگم‌ها که از نوع الاستومری می‌باشند، این دیافراگم‌ها مقاومت بسیار خوبی در دماهای بسیار بالا دارند. هرچند که باید توجه داشت خواص مکانیکی مواد الاستومری در دماهای بالا پایین خواهد آمد و امکان از بین رفتن آن نیز در فشارهای بالا وجود دارد.

شیر یک‌طرفه[3]

همانطور که از نام آن پیداست حرکت سیال در شیر یک‌طرفه به صورت یک‌طرفه بوده و از برگشت جریان جلوگیری می‌کند. عملکرد شیر یک‌طرفه می‌تواند صرفاً به کمک جریان صورت بگیرد و یا از نیروی خارجی برای برگشت دیسک استفاده شود. اپراتور نقشی در عملکرد شیر یک‌طرفه نداشته و به همین دلیل به آن شیر خودکار نیز اطلاق می‌شود. شیرهای یک‌طرفه انواع گوناگونی دارند که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

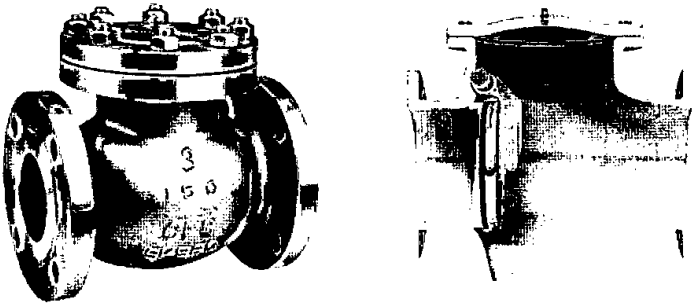
شیر یک‌طرفه نوسانی(Swing check valve)

1- Weir type
2- Straight-through type
3. Check Valve

شیر یک‌طرفه نوسانی از نوع ویفر (Swing type wafer check valve)
شیر یک‌طرفه دیسکی(Disk check valve)
شیر یک‌طرفه با دیسک دوتکه(Split disk check valve)
شیر یک‌طرفه بالا رفتنی(Lift check valve)

شیر یک طرفه نوسانی(لولایی)[1]

شیر یک‌طرفه‌های نوسانی دارای دیسکی می‌باشند که در بالای شیر به بدنه قلاب شده است. شیرهای یک‌طرفه نوسانی عموماً در خطوط پیوسته که دارای Gate Valve هستند مورد استفاده قرار می‌گیرند. چون این شیرها جریان آزاد نسبی را از خود عبور می‌دهند.



شکل ۱۳-۱۴: واقعی و برش خورده شیر یک‌طرفه نوسانی

این شیرها برای خطوطی که سرعت سیال پائین می‌باشد مورد استفاده قرار می‌گیرند و در خطوطی که دارای جریان ضربانی می‌باشند نباید از این شیرها استفاده نمود. زیرا به طور پیوسته دیسک باز و بسته شده و کوبیده شدن آن باعث از بین رفتن متعلقات شیر خواهد شد.

به‌طور کلی همانطور که بیان شد این نوع شیر یک‌طرفه برای حالتی که سیال حرکت ضربه‌ای داشته و یا برگشت سیال سریع باشد گزینه مناسبی نیست. این شیرها دارای چندین قطعه هستند و این قطعات به وسیله اتصالاتی به یکدیگر مرتبط گردیده‌اند لذا همین امر سبب می‌شود که در میان سایر شیرهای یکطرفه دارای استحکام کمتری باشند. علاوه بر این در حالتی که مجرابند حرکت نسبتاً بزرگی داشته باشد این حالت می‌تواند منتج به افزایش سرعت برگشت مجرابند گردیده و نیروی ضربه‌ای بزرگی را در حالت ناگهانی باز و بسته شدن به‌وجود آورد.

این نوع از شیرهای یک‌طرفه را می‌توان هم در حالت افقی و هم در حالت عمودی مورد استفاده قرار داد. (درحالت نصب عمودی باید جریان سیال از پائین به بالا باشد تا نیروی جاذبه به بسته شدن مجرابند کمک نماید) همچنین به دلیل سادگی تجهیزات تشکیل دهنده، دارای تعمیرات به نسبت ساده‌تری در مقایسه با سایر شیرهای یک‌طرفه می‌باشند.

این شیرها فاقد متعلقات محافظ در مقابل ضربه چکش هستند بنابراین از نکاتی که باید در این گونه شیرها در نظر گرفت به‌وجود آمدن ضربه چکش(قوچ) در آنها می‌باشد. ضربه چکش در اثر یک فشار

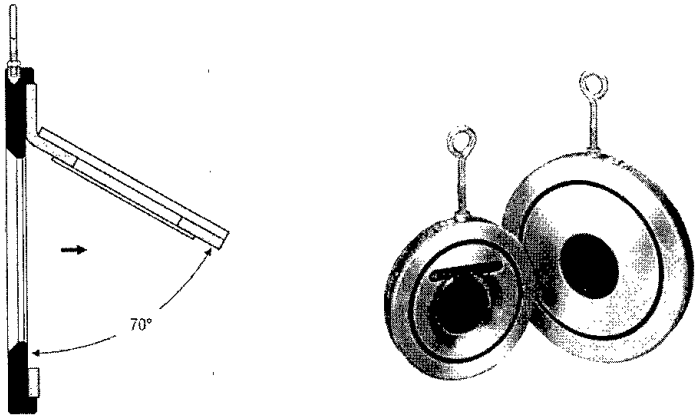
---

[1] فیلم آموزشی شماره۱۳-۸ را ببینید

موجی (Surge Pressure) خیلی بزرگ در هنگامی که این شیرها بسته می‌شوند به‌وجود می‌آید. از آنجاییکه مجرابند در این شیرها باید مسافت زیادی را جهت باز و بسته کردن شیر طی نمایند چنانچه در یک فاصله زمانی کوتاه و در طی زمانی این مسیر توسط مجرابند طی می‌شود سرعت برگشت سیال افزایش یابد ضربه چکش به‌وجود خواهد آمد.

شیر یک‌طرفه نوسانی از نوع ویفر

این نوع شیر یک‌طرفه شباهت زیادی به شیر یک‌طرفه‌های نوسانی استاندارد دارند با این تفاوت که بدنه شیر بطور کامل دور تا دور آن را در بر نمی‌گیرد. در عوض هنگامیکه شیر باز می‌شود زبانه آن به قسمت بالای لوله فشار وارد می‌کند. زبانه شیرهای یک‌طرفه ویفری باید کوچکتر از قطر لاین باشد. و به همین علت افت در آنها بیشتر از شیرهای یک‌طرفه نوسانی است.



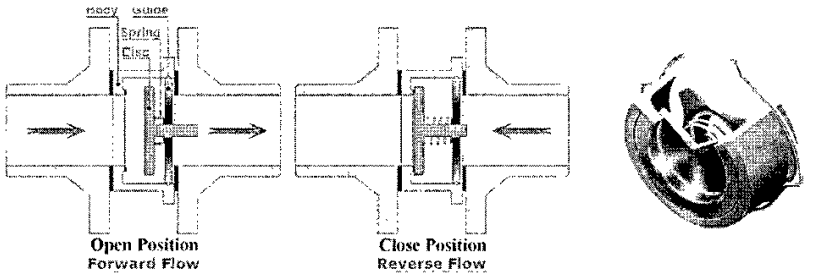
شکل ۱۳-۱۵: شیر یک‌طرفه ویفری و طریقه عملکرد آن

شیر یک‌طرفه دیسکی

در شیرهای دیسکی مجرابند با فشار جریان حرکت کرده و میزان حرکت آن توسط فنری که در پشت مجرابند قرار گرفته است کنترل می‌گردد. بدنه به گونه‌ای طراحی گردیده که دور تادور مجرابند را در بر می‌گیرد.

هنگامی‌که نیروی وارده بر مجرابند که به‌وسیله فشار جریان ایجاد می‌گردد از نیروی فنر بزرگتر باشد سبب می‌شود مجرابند از محل قرارگیری خود جدا شده و اجازه دهد تا جریان از داخل شیر عبور نماید. هنگامیکه اختلاف فشار در داخل شیرکاهش یابد در این حالت فنر بر مجرابند نیرو وارد کرده و باعث می‌گردد که مجرابند در محل نشیمنگاه قرار گرفته و مسیر جریان را قبل از عبور جریان معکوس ببندد. فنر شیرهای دیسکی بنابر نوع کاربرد شیر می‌تواند متنوع باشد. شیرهای دیسکی به دلیل داشتن ابعاد کوچک و قیمت مناسب در تاسیسات آب و بخار بسیار پر کاربرد هستند. شاید بتوان پر کاربردترین نقطه بکارگیری آنها را شیر یک‌طرفه آب تغذیه بویلر دانست. عملکرد مطمئن این شیرها کمک می‌کند از

برگشت بخار از بویلر به سمت پمپ جلوگیری شود.



شکل ۱۳-۱۶: شماتیک نصب شیر یک‌طرفه دیسکی

شیر یک‌طرفه با دیسک دوتکه

شیر یک‌طرفه‌های با مجرابند دو تکه جهت فائق آمدن بر افت فشار و سایز خطوط در شیر یک‌طرفه‌های نوسانی و شیر یک‌طرفه‌های دیسکی، طراحی گردیده‌اند.

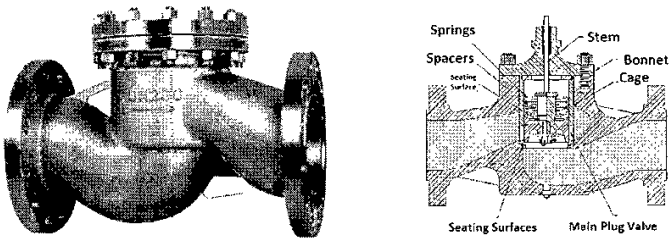
مجرابند این شیرها در واقع دو تکه شده و از طرف مرکز شان لولا گردیده است. همانند اینکه دو مجرابند در یک مسیر بصورت لولایی قرار گرفته باشند. این مجرابند بر روی نشیمنگاه به‌وسیله یک فنر پیچشی در یک قلاب قرار داده شده‌است.

این شیرها در حالت معمولی بصورت بسته می‌باشند(Normally Closed) و مجرابندها توسط فنر پیچشی به‌صورت بسته نگه داشته می‌شوند. هنگامیکه مسیر جریان به سمت جلو باشد، فشار سیال سبب می‌گردد تا مجرابند لولا را باز کرده و اجازه عبور جریان داده می‌شود. در این حالت به محض قطع شدن جریان سیال و قبل از ایجاد جریان معکوس در شیر یکطرفه، دیسک‌ها به‌وسیله نیروی فنر مجدداً بسته می‌شوند.

شیر یک طرفه بالا رفتنی

این نوع از شیر یک‌طرفه‌ها بهترین گزینه برای سیستم‌هایی هستند که در آنها از گلاب به عنوان یک شیرکنترل جریان استفاده می‌شود. شیر یک‌طرفه‌های بالارفتنی برای قرارگیری در سیستم پایپینگ افقی مناسب بوده و همچنین در سیستمهای پایپینگ عمودی که مسیر جریان از پائین به بالا می‌باشد نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین از این شیرها برای خطوط هوای فشرده، گاز، بخار و آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. شیرهای بالا رفتنی‌در سه‌شکل بدنه افقی، بدنه عمودی، بدنه زاویه‌ای تولید می‌شوند.

وقتی که سیال به سمت جلو جریان پیدا می‌کند فشار سیال قسمت مخروطی را ازسیت جدا کرده و به سمت بالا فشار می‌دهد و در این حالت شیر یک‌طرفه باز شده و جریان سیال برقرار می‌گردد. هنگامی‌که جریان سیال معکوس می‌گردد قسمت مخروطی به محل قبلی خود در نشیمنگاه بازگشته و فشار معکوس جریان باعث بسته شدن کامل مسیر می‌گردد. شیرهای بالا رفتنی بهترین گزینه برای حالتی هستند که امکان به‌وجود آمدن جریان برگشت سریع سیال وجود دارد.



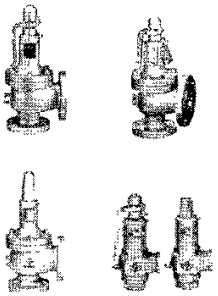
شکل ۱۳-۱۷: واقعی و برش خورده شیر یک‌طرفه بالا رفتنی

میزان حرکت در این شیرها کمترین حرکت در مقایسه با سایر شیر یک‌طرفه‌ها است. طراحی این شیرها به گونه‌ای است که از هیچ گونه پین و لولا و یا پیچ و مهره‌ای استفاده نمی‌شود. با توجه به اینکه این شیر یک‌طرفه‌ها دارای کوتاه ترین کورس حرکتی وهمچنین حداقل قطعات تشکیل دهنده در مقایسه با دیگر شیر یک‌طرفه‌ها هستند فلذا فرسایش در این شیرها بسیار پائین است.

شیر اطمینان[1]

کاربرد شیر اطمینان در تمامی نقاطی است که محدودیت فشار وجود دارد. در این نقاط با نصب شیر اطمینان اولاً ایمنی پرسنل تامین می‌گردد و ثانیاً فشار سیستم از فشار قابل تحمل تجهیزات فراتر نمی‌رود. اصطلاحاً به این محدوده، محدوده فشار کارکرد امن[2] می‌گویند.

شیرهای اطمینان به کمک آزادسازی بخشی از سیال عملیات ایمن سازی را انجام می‌دهند. شیرهای اطمینان انواع مختلفی دارند اما در سیستم‌های بخار از یک فنر (متناسب با فشار طراحی) برای آزاد سازی فشار اضافی و سپس بسته شدن مجدد شیر جهت جلوگیری از خروج سیال بعد از پایین آمدن فشار استفاده می‌شود.



شکل ۱۳-۱۸: انواع شیر اطمینان فنردار ساخت *SAMYANG*

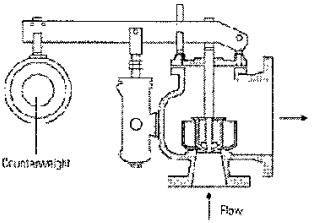
بنابراین باز و بسته شدن شیر با توجه به فشار وارد شده بر دیسک و توسط فنر انجام می‌گیرد و احتیاج به هیچ گونه فشار خارجی نیست. البته شیرهای اطمینان مورد استفاده روی بویلرها و خطوط بخار دارای دسته و یا اهرمی هستند که به کمک انرژی خارجی می‌توان آنها را باز کرد. عموماً از این اهرم برای تست شیر اطمینان استفاده می‌شود. نکته بسیار مهم در ارتباط با این اهرم در آن‌است که به هیچ عنوان نمی‌بایست از آن به عنوان دستگیره جهت جابجایی شیر قبل از نصب استفاده نمود.

1- Safety Valve
2- Safe operating limits for pressure

انواع دیگر شیر اطمینان

شیر اطمینان وزنه‌ای[1]

این نوع شیرها، شیرهایی هستند که بانیروی وزنه‌های روی دریچه، فشار درون مخزن را در حد ایمن مهار می‌کنند. این نوع شیر اطمینان قدیمی‌ترین نوع شیر اطمینان است و از آن بر روی بویلر بخار کشتی بخار و لوکوموتیوهای بخار استفاده می‌شده است.



شکل ۱۳-۱۹: شماتیک شیر اطمینان وزنه‌ای

شیر اطمینان حرارتی[2]

این نوع از شیر اطمینان براساس حرارت و فشار عمل کرده و در روی آب‌گرمکن‌ها کاربرد فراوانی دارد. عموماً این شیرها روی ۹۰-۹۳ °C شروع به باز شدن کرده و در ۹۶-۹۹ °C به حداکثر خود می‌رسد.

شکل ۱۳-۲۰: نمونه یک شیر اطمینان *t&p safety valve*

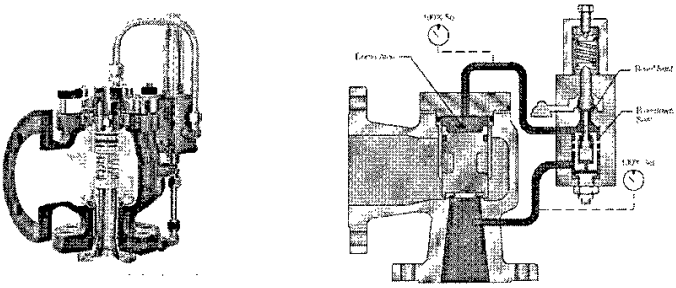
شیراطمینان پایلوت‌دار[3]

شیرهای اطمینان پایلوت‌دار شامل شیر اصلی و یک شیر فرمان کوچک (Pilot-Valve) هستند. پایلوت از نوع فنر فشرده بوده و به وسیله فشار ورودی سیال باز و بسته می‌شود. شیر اصلی نیز به صورت پیستونی عمل می‌کند.

شیر اصلی شامل دو بخش ثابت و متحرک است. دیسک شیر اصلی در قسمت تحتانی دارای سطح مقطع کوچک‌تری نسبت به قسمت فوقانی آن است. سیال پس از ورود به شیر اصلی به زیر دیسک فشار می‌آورد. مسیر کنارگذر نیز سیال را از طریق پایلوت به قسمت فوقانی دیسک هدایت می‌کند. از آنجاییکه سطح مقطع قسمت فوقانی از قسمت تحتانی بزرگتر است فشار برابر دو طرف سبب بسته ماندن شیر می‌شود. با بالا رفتن فشار از نقطه‌ای که شیر پایلوت تنظیم شده است شیر پایلوت مسیر گذر سیال به

1- Safety Valve
2- T&P Safety Valve
3- Pilot-Operated PRVs

قسمت فوقانی شیر اصلی را مسدود می‌کند. بدین ترتیب دیسک بالا رفته و سیال را تخلیه می‌کند. با پایین آمدن فشار سیال پایلوت مسیر کنارگذر را مجدداً می‌گشاید و شیر اصلی بسته می‌شود. (فیلم آموزشی ۱۳-۹ را ببینید)

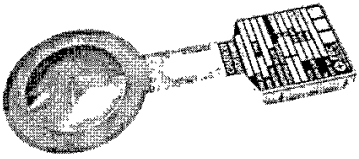


شکل ۱۳-۲۱: شماتیک و برش خورده شیر اطمینان *Pilot-Operated PRVs*

پولک‌های پاره شونده[1]

پولک‌های پاره شونده از یک دیسک مجزا تشکیل شده است و هنگامی که این دیسک در معرض یک اختلاف فشار طراحی شده قرار بگیرد می‌ترکد. این دیسک‌ها به عنوان یک وسیله آزادکننده فشار بوده که قابلیت بسته شدن مجدد را ندارند.

از این دیسک‌ها در مواردی که احتیاج به باز شدن سریع و آنی در آنها مورد نظر است و یا جهت محافظت از شیرهای اطمینان و یا هر وسیله دیگری که در مقابل سیالات فرایندی خورنده قرار می‌گیرد استفاده می‌شوند. پولک‌های پاره شونده در دیگ‌خانه‌های بخار صنعتی کاربرد ندارد.



شکل ۱۳-۲۲: نمونه یک پولک پاره شوند *Rupture Disk*

تقسیم‌بندی شیرهای اطمینان به‌کار رفته در سیستم‌های بخار

در استانداردهای اروپایی به این قبیل شیرها اصطلاحاً شیر اطمینان (safety valve) ودراستانداردهای امریکایی شیر فشارشکن اطمینان و یا شیر ایمنی- اطمینان (safety relief valve) گفته می‌شود. متاسفانه هیچ واژه‌ای منحصراً تجهیزات محافظتی را پوشش نمی‌دهد.

شیرهای اطمینان فنردار براساس فاکتورهای متفاوتی تقسیم‌بندی می‌شوند که مهم‌ترین آنها عبارت‌اند از:

۱- براساس میزان خیز دهانه شیر

الف)LOW LIFT TYPE مساحت واقعی خروجی با موقعیت دیسک تعیین میشود

ب) FULL BORE TYPE مساحت واقعی خروجی با موقعیت دیسک تعیین نمی‌شود

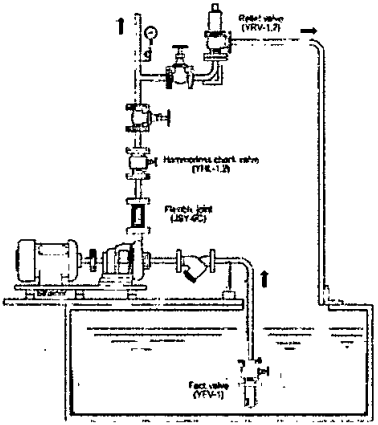
ج)دهن گشاد: هیچ برآمدگی در دهانه وجود ندارد.

1- Rupture Disk

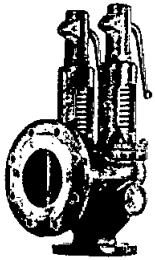
۲- براساس نوع سر

الف) اهرم دارLEVER TYPE: شیر مجهز به اهرم بوده و می‌توان از آن برای تست استفاده نمود.

ب) بدون اهرمCAP TYPE: این نوع از شیراطمینان به اهرم مجهز نبوده و برای بخار کاربرد نـدارد و از آن بر روی دیگ آب‌گرم و دهش یمپ‌ها استفاده می‌شود.



شکل ۱۳-۲۳: شماتیک نصب شیر اطمینان در دهش پمپ



شکل ۱۳-۲۴: نمونه یک شیر اطمینان دوقلو

۳- براساس تعداد فنر

الف) تک قلو: شیر اطمینان مجهز به یک فنر می‌باشد.

ب) دوقلو: شیر اطمینان مجهز به دو فنر می‌باشد.

اصطلاحات و تعاریف[1]

(Ps(Set Pressure: فشاری که شیر اطمینان روی آن تنظیم شده و در آن دیـسک شـروع بـه بـاز شـدن میکند.

(Po(opening pressure: مقدار فشار بالاتر از Ps که در آن شیر اطمینان در حالت کاملاً باز قرار می‌گیرد.

(Pc(closing pressure: فشاری که در آن شیر کاملاً بسته می‌شود.

Blowdown: اختلاف بین Pc، Ps است که برای بخار طبق جدول زیر بدست می‌آید:

Unit: kg/cm²(MPa)

Set pressure	Blowdown	
	Without using a soft seat on disc seat surface	Using a soft seat on disc seat surface
2(0.2) or less	Maximum 0.3(0.03)	Maximum 0.5(0.05)
Higher than 2(0.2)	Maximum 15% of set pressure	Maximum 25% of set pressure

[1] فیلم آموزشی شماره۱۳-۱۰ را ببینید

Back Pressure: فشار موجود در لوله خروجی شیر اطمینان (معمولاً در اثر ایجاد کندانس بخار نشت یافته بعد از شیر به‌وجود می‌آید).

کاربرد سوپاپ اطمینان
بویلرهای بخار و آب‌گرم

بدون شک مهم‌ترین کاربرد سوپاپ اطمینان در دیگ‌خانه نصب آن روی بویلر است. در بویلرهای تولید بخار شیر اطمینان باید به‌گونه‌ای باشد که در بار کامل بتواند کل بخار تولیدی بویلر را تخلیه نماید بی آنکه افزایش فشاری بیش از ۶۰٪ از حداکثر فشار عملکرد بویلر اتفاق افتد.[۱]

ظرفیت شیر اطمینان دیگ‌بخار براساس بخار تولید شده در واحد سطح گرمایش بویلر محاسبه می‌شود. سطح گرمایشی سطحی است که یک طرف آن آب و طرف دیگر آن گازهای احتراق است. سطح گرمایشی در واقع در سمت آب محاسبه می‌شود. چنانچه سطح حرارتی بویلر بیش از ۴۶/۵ m^2 (۵۰۰ ft^2) باشد می‌بایست ۲ شیر اطمینان روی بویلر نصب گردد. عموماً هر دو شیر در سایز برابر انتخاب می‌شوند اما چنانچه متفاوت باشند شیر کوچکتر نباید بیش از ۵۰٪ از شیر بزرگ‌تر کوچک‌تر باشد.

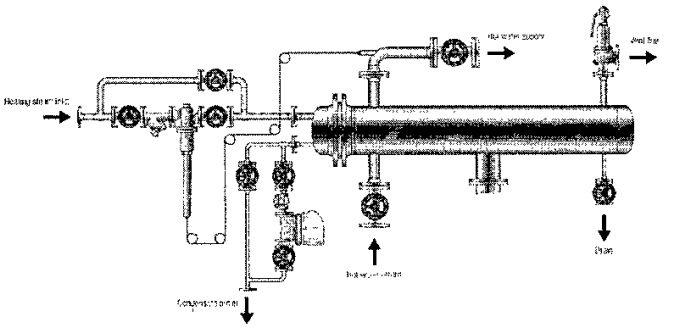
البته محاسبه سطح گرمایی برای کاربران کارایی نداشته و سازنده بویلر صرفاً توان تولید بخار درساعت را در کاتالوگ مشخصات بویلر ذکر می‌کند.

مخازن و مبدل‌ها

شیر اطمینان بر روی مخازن و مبدل‌های حرارتی کاربرد وسیعی دارد. مبدل‌های حرارتی عموماً به یکی از سه شکل زیر هستند:

۱- آب به آب: یعنی تامین آب‌گرم با استفاده از آب‌داغ دیگ. در این نوع مبدل هر دوسمت کوئل حرارتی آب وجود دارد.(یک طرف آب بویلر و یک طرف آب مصرفی) مهم‌ترین مثال آن تامین آب‌گرم مصرفی ساختمان و مبدل پوسته ولوله استخرهای شنا است. شیر اطمینان این مبدل‌ها باید دارای ظرفیت کافی برای جلوگیری از افزایش فشار مبدل به بالاتر از ۱۰٪ safe operating limits for pressure باشد.

۲- بخار به آب: یعنی تامین آب‌گرم با استفاده از بخار بویلر. روی این مخازن حداقل سایز شیر اطمینان DN25 است. و می‌بایست فشار آن مطابق حداثر فشار قابل تحمل مخزن باشد.



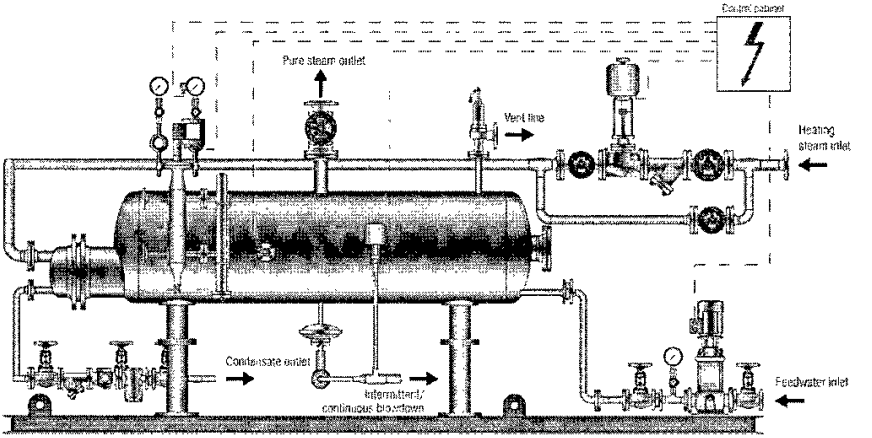
شکل ۱۳-۲۵: شماتیک نصب شیر اطمینان روی مبدل پوسته و لوله

---

[۱] فیلم آموزشی شماره۱۳-۱۱ را ببینید

۳- آب به بخار: یعنی تولید بخار کم فشار با کمک آب‌داغ بویلر. شیر اطمینان باید دارای ظرفیت کافی برای جلوگیری از افزایش فشار مبدل به 5psi بالاتر از حداکثر فشار قابل تحمل مخزن باشد.

۴- بخار به بخار: یعنی تولید بخار کم فشار از بخار پر فشار. نمونه بارز آن تولید بخار تمیز در صنایع دارویی و بیمارستانی است.



شکل ۱۳-۲۶: شماتیک یک تولیدکننده بخار تمیز

مدار فشارشکن

بعد از شیرهای فشارشکن می‌بایست یک شیر اطمینان نصب نمود تا به کمک آن بتوان در صورت بروز اشکال در شیر فشارشکن و افزایش فشار از آسیب به تجهیزات کم فشار جلوگیری نمود. شیر اطمینان نوع Low lift بدین منظور بهترین گزینه است. البته باید به این نکته توجه نمود که برای مصرف کننده‌های بخار حساس به فشار که بعضاً قیمت بسیار بالایی دارند باید یک شیر اطمینان مجزا نیز نصب نمود.

برای انتخاب شیراطمینان در مدار فشارشکن به دو فاکتور مهم باید توجه نمود:

الف) فشار شیر اطمینان

فشار شیر اطمینان را براساس فشار خروجی تنظیم شده فشارشکن و به کمک جدول ۱۳-۲ قابل محاسبه است.

جدول ۱۳-۲: راهنمای تنظیم فشار شیر اطمینان

Set pressure of pressure reducing valve(bar)	Set pressure of safety valve(bar)
$1 \leq$	Set pressure of pressure reducing valve +0.5
$< 1-4 \leq$	Set pressure of pressure reducing valve +0.8
$< 4-6 \leq$	Set pressure of pressure reducing valve +1.0
< 6	Set pressure of pressure reducing valve +1.2

ب)گذر بخار

توان گذر بخار شیر اطمینان در حداکثر توان شیر باید حداقل برابر ۱۰٪ ماکزیمم گذر بخار از شیر فشارشکن باشد که می‌توان از جدول سازنده شیر اطمینان براساس فشار سیستم آن را بدست آورد.

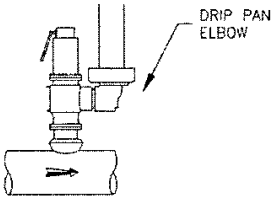
جدول ۱۳-۳: ظرفیت شیر اطمینان *Low Lift* ساخت *SAMYANG*

kg/h

Model	P / Size	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
YSL-1	15		16	23	31	39	46	54	62	69	77	85
	20	0.4395	26	38	51	64	77	90	103	116	129	142
	25	1.0988	45	67	90	112	135	158	180	203	226	249
	40	1.7579	122	154	206	257	309	361	413	464	516	568
	50	2.9029	166	250	334	418	502	586	670	754	839	923

نصب شیر اطمینان

پس از اجراء خطوط و نصب شیر اطمینان می‌بایست قبل از راه‌اندازی شیر اطمینان براده‌های ناشی از جوشکاری و هر نوع ماده خارجی را تمیز نمود. شیر اطمینان بر روی بویلر و خطوط بخار و منابع و یا مصرف کننده‌های بخار همواره در بالا نصب می‌گردد. اتصال شیر اطمینان از پایین خطوط بخار موجب جمع شدن کندانس پشت نشیمنگاه شیر شده و به مرور زمان باعث خوردگی در نشیمنگاه شیر شده و آن‌را از آب‌بندی خارج می‌کند و در نتیجه شیر شروع به نشتی خواهد کرد.

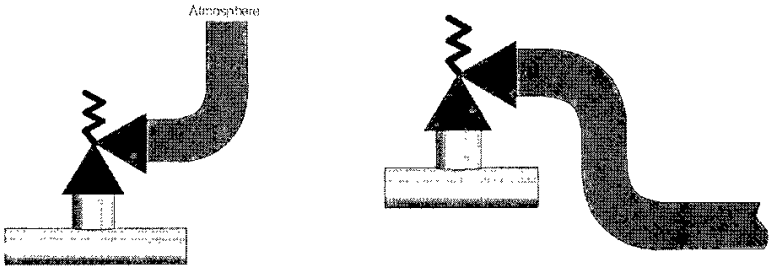


شکل ۱۳-۲۷: شماتیک نصب شیر اطمینان روی خط بخار

نیروی شیر اطمینان توسط فنر اعمال می‌شود. بنابراین باید آن‌را عمودی و بدون زاویه نصب نمود. زاویه دار بودن شیر اطمینان که اکثراً به دلیل عدم وجود فضای کافی انجام می‌گیرد ممکن است باعث اختلال در عملکرد شیر شود.

لوله خروجی

لوله خروجی شیراطمینان برای بخار و هوا همواره رو به بالا است و برای آب می‌تواند رو به پایین باشد. در مسیر افقی برای آب باید شیب ۱٪ رو به پایین را در نظر گرفت تا سیال به صورت ثقلی تخلیه گردد.



شکل ۱۳-۲۸: شماتیک لوله خروجی شیر اطمینان

ایمنی لوله خروجی بخار شیرهای اطمینان برای پرسنل دیگ‌خانه بسیار ضروری است. زیرا آزاد شدن

بخار پر فشار به فضای اتمسفر (فواره بخار) می‌تواند کشنده باشد. برای درک این موضوع می‌توانید دست خود را برای چند ثانیه در بالای مقدار ناچیز بخار کتری با فشار اتمسفر و دمای $^{\circ}C$ ۱۰۰بگیرید.

حداقل قطر لوله تخلیه شیر اطمینان برابر سایز خروجی شیر خواهد بود و بهتر است آن را یک سایز بزرگ‌تر در نظر گرفت. این لوله می‌بایست حد اقل ۱/۸m(۶ft) طول داشته باشد و باید آنرا از سقف دیگ‌خانه به بیرون راند و در انتهای آن یک CAP جهت جلوگیری از ورود آب باران و پرندگان نصب نمود. چنانچه پشت بام دیگ‌خانه مسطح باشد و امکان حضور افراد روی آن وجود داشته باشد باید این لوله را از سطح پشت بام بالاتر برد تا امکان سوختگی افراد وجود نداشته باشد. با این شرایط چنانچه طول لوله از۳/۶m(۱۲ft) بیشتر شود به ازاء هرمتر باید یک سایز قطر لوله را افزایش داد تا از افت ناشی از اصطکاک کاسته شود و فشار بازدارنده روی شیراطمینان در زمان عملکرد ایجاد ننماید.

برای محاسبه دقیق قطر خروجی شیراطمینان می‌توان از رابطه ۱۳-۱کمک گرفت:

$$D = \sqrt{\frac{Lc \times Vg \times m^{2}}{\circ/\circ \Lambda p}} \qquad (۱-۱۳)$$

که در آن:

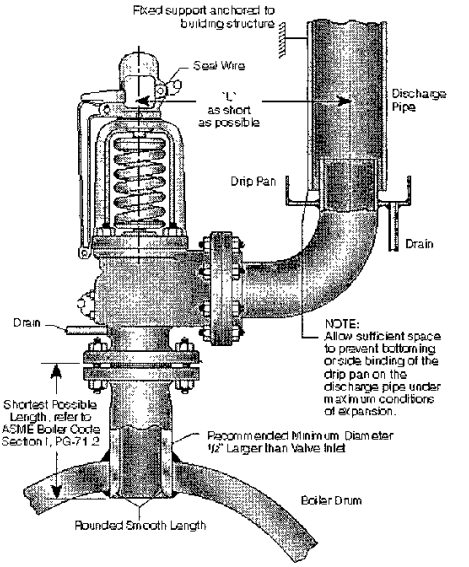
D: قطر لول(mm)

Le: طول معادل لوله کشی

m: بخار تخلیه

P: فشار معادل ۱۲٪

Vg: حجم مخصوص بخار

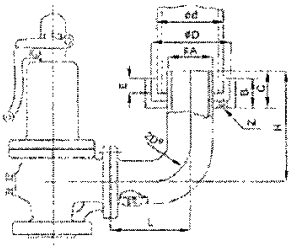


شکل ۱۳-۲۹: شماتیک لوله خروجی شیر اطمینان

وزن سامانه لوله‌کشی می‌بایست به خوبی مهار گردد و از شیر اطمینان به عنوان تکیه گاه سامانه لوله‌کشی استفاده نشود زیرا این فشار اولاً باعث ایجاد تنش در بدنه شیر شده و ثانیاً هر زمانی که احتیاج به باز کردن شیر باشد(در زمان تست هیدرو استاتیک بویلر) کار را بسیار دشوار خواهد کرد.

ورود بخار به داخل لوله تخلیه باعث شوک حرارتی و انبساط طولی آن می‌شود و از آنجاییکه لوله به طور کامل مهار شده است به طرف شیر اطمینان افزایش طول می‌دهد. بدین منظور باید قطعه انبساطی مخصوص در خروجی رو به بالای شیر اجرا گردد.

جدول ۱۳-۴: جدول انتخاب سایز مناسب خروجی شیر اطمینان بخار



) Dimensions

(Pg/h)

Size on outlet side	D	d	A	B	C	E	L	H	N
40	40	65	130	60	80	30	130	220	PT¾"
50	50	80	150	60	90	40	150	230	PT1¼"
65	65	100	200	60	100	40	180	270	PT1½"
80	80	125	200	70	120	50	200	310	PT1½"
100	100	150	250	70	140	60	250	370	PT2½"
125	125	200	300	80	160	70	300	430	PT1"
150	150	200	300	80	180	80	350	500	PT1"
200	200	250	360	100	220	80	450	610	PT1"

امکان نشتی بخار از شیر اطمینان همواره وجود دارد. بخار نشت پیدا کرده از شیر اطمینان پس از برخورد با لوله‌های سرد خروجی فوراً کندانس می‌شود. این کندانس به مرور زمان جمع شده و حتی ممکن است کل لوله خروجی را پر کند. این آب جمع شده پشت شیر علاوه بر آنکه با ایجاد فشار مثبت پشت شیر اطمینان باعث جلوگیری از عملکرد شیر در فشار تنظیمی می‌شود ممکن است در زمستان یخ زده، هم مسیر را مسدود کند و هم به سامانه لوله‌کشی آسیب بزند.

بنابراین می‌بایست یک خط تخلیه در خروجی شیر اطمینان در نظر گرفت. عموماً سازندگان شیرهای اطمینان خود در بدنه شیر مجرای تخلیه قرار می‌دهند که می‌توان از آن استفاده نمود. در غیر این صورت باید در پایین‌ترین نقطه از لوله خروجی یک مجرای تخلیه کندانس نصب نمود. قطر این مجرای تخلیه عموماً $\frac{1}{2}$" است.

محاسبات و انتخاب شیر اطمینان

پس از بدست آوردن وزن بخار مورد نیاز برای تخلیه توسط شیر اطمینان می‌بایست شیری را که بتواند این مقدار بخار را در فشار مورد نظر تخلیه نماید انتخاب نمود. بدین منظور دو راهکار پیش‌روست:

الف) استفاده از رابطه محاسباتی

ب) مراجعه به کاتالوگ سازنده

رابطه محاسباتی

رابطه کلی برای محاسبه میزان تخلیه بخار برای شیر اطمینان طبق رابطه۱۳-۲ است:

$$W=0.5145\times A\times(P+1)\times K\times C\times 0.9 \qquad (۲-۱۳)$$

که در آن:

W: دبی بخار خروجی

A: حداقل سطح قابل گذر بخار (mm^2)

در شیرهای Full Bore برابر $\pi D^2/4$

در سایر شیرها πDL که در آن:

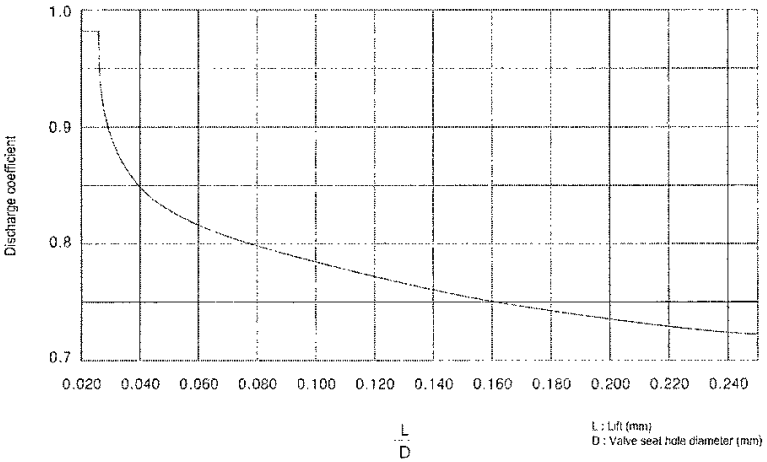
D: قطر دیسک شیر اطمینان

L: میزان بلند شدن دیسک (Valve Lift)

P: فشار بخار (barg)

K: ضریب اصلاحی خروجی شیر اطمینات(بر اساس نمودار شکل ۱۳-۳۰)

C: ضریب اصلاحی برای بخار سوپرهیت(جدول۱۳-۵)



شکل۱۳-۳۰: منحنی محاسبه ضریب اصلاحی *K*

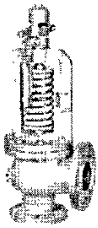
جدول ۱۲-ث: محاسبه ضریب اصلاحی C

Temperature / Absolute pressure kgf/cm²(Pa)	Saturated temperature	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700
5(0.5)	1.005	0.996	0.972	0.951	0.931	0.913	0.896	0.879	0.864	0.849	0.835	0.822															
10(1.0)	0.987	0.991	0.983	0.960	0.938	0.918	0.901	0.884	0.868	0.853	0.838	0.825															
15(1.5)	0.977	0.976	0.970	0.972	0.947	0.925	0.906	0.888	0.872	0.856	0.841	0.828															
20(2.0)	0.972		0.967	0.964	0.955	0.932	0.912	0.893	0.876	0.860	0.845	0.830	0.817	0.804	0.792	569	0.780										
25(2.5)	0.969			0.961	0.961	0.937	0.918	0.898	0.880	0.863	0.848	0.833	0.819	0.806	0.793	925	0.782										
30(3.0)	0.967			0.962	0.957	0.949	0.924	0.903	0.885	0.867	0.851	0.836	0.822	0.808	0.795	85	0.783	0.763	0.748	0.742	0.730	0.721	0.712	0.703	0.695	0.687	0.679
40(4.0)	0.965				0.958	0.954	0.934	0.915	0.894	0.875	0.857	0.841	0.826	0.813	0.799	142	0.787	0.763	0.755	0.744	0.735	0.725	0.715	0.705	0.695	0.688	0.680
50(5.0)	0.966					0.955	0.953	0.927	0.904	0.884	0.865	0.848	0.832	0.817	0.803	249	0.790	0.766	0.755	0.747	0.737	0.723	0.717	0.708	0.697	0.689	0.681
60(6.0)	0.968					0.962	0.953	0.941	0.911	0.891	0.872	0.854	0.838	0.822	0.808	569	0.794	0.769	0.758	0.747	0.739	0.729	0.719	0.710	0.698	0.690	0.682
70(7.0)	0.971						0.958	0.954	0.924	0.901	0.881	0.851	0.844	0.827	0.812	925	0.798	0.772	0.761	0.749	0.739	0.731	0.721	0.708	0.702	0.691	0.683
80(8.0)	0.975						0.957	0.956	0.937	0.912	0.897	0.868	0.850	0.833	0.817	85	0.802	0.776	0.763	0.752	0.741	0.731	0.719	0.710	0.701	0.692	0.684
90(9.0)	0.980							0.962	0.957	0.926	0.909	0.876	0.856	0.838	0.822	142	0.807	0.779	0.768	0.754	0.743	0.733	0.722	0.711	0.702	0.693	0.685
100(10.0)	0.986							0.971	0.961	0.936	0.926	0.883	0.863	0.844	0.827	249	0.811	0.782	0.769	0.757	0.745	0.735	0.724	0.712	0.703	0.695	0.686
120(12.0)	0.999								0.975	0.964	0.956	0.903	0.876	0.857	0.838	569	0.818	0.789	0.775	0.762	0.750	0.739	0.728	0.718	0.706	0.697	0.688
140(14.0)	1.016								1.002	0.980	0.988	0.920	0.893	0.868	0.846	925	0.828	0.797	0.782	0.768	0.755	0.743	0.732	0.721	0.711	0.699	0.691
160(16.0)	1.036									1.000	1.004	0.942	0.907	0.883	0.858	85	0.838	0.803	0.787	0.774	0.760	0.748	0.736	0.725	0.714	0.704	0.693
180(18.0)	1.063									1.038	1.028	0.972	0.929	0.895	0.873	142	0.848	0.810	0.794	0.779	0.766	0.752	0.740	0.728	0.717	0.707	0.697
200(20.0)	1.094										1.072	1.006	0.953	0.914	0.885	249	0.861	0.818	0.801	0.786	0.770	0.757	0.744	0.732	0.720	0.710	0.700
220(22.0)	1.129											1.033	0.982	0.932	0.900	569	0.872	0.827	0.805	0.793	0.777	0.761	0.749	0.736	0.724	0.713	0.702
240(24.0)												1.058	1.016	0.958	0.915	925	0.885	0.837	0.815	0.797	0.783	0.766	0.752	0.740	0.727	0.716	0.705
260(26.0)												1.099	1.055	0.982	0.935	85	0.899	0.848	0.825	0.804	0.786	0.772	0.756	0.741	0.731	0.719	0.708
280(28.0)												1.167	1.096	1.013	0.956	142	0.913	0.853	0.834	0.811	0.793	0.776	0.762	0.747	0.735	0.720	0.710
300(30.0)													1.132	1.047	0.977	249	0.931	0.867	0.838	0.821	0.799	0.781	0.763	0.753	0.735	0.724	0.715
320(32.0)													1.169	1.089	1.009	569	0.952	0.877	0.849	0.824	0.805	0.787	0.770	0.753	0.742	0.729	0.714
340(34.0)														1.136	1.032	925	0.968	0.888	0.859	0.835	0.812	0.792	0.775	0.757	0.746	0.729	0.716
360(36.0)														1.191	1.063	85	0.989	0.899	0.869	0.842	0.818	0.798	0.780	0.761	0.761	0.734	0.723
380(38.0)															1.098	142	1.016	0.913	0.878	0.850	0.823	0.804	0.785	0.765	0.750	0.739	0.726
400(40.0)															1.137	249	1.037	0.927	0.888	0.858	0.832	0.807	0.790	0.769	0.754	0.742	0.725
420(42.0)																569	1.064	0.944	0.901	0.868	0.839	0.815	0.792	0.774	0.758	0.75	0.729
440(44.0)																925	1.092	0.954	0.914	0.876	0.846	0.821	0.800	0.779	0.762	0.748	0.731
460(46.0)																925	1.122	0.971	0.924	0.888	0.854	0.828	0.805	0.785	0.766	0.753	0.738

▶ Remarks - The intermediate value of pressure and temperature in this chart is calculated according to the rule of three.

ب)کاتالوگ سازنده

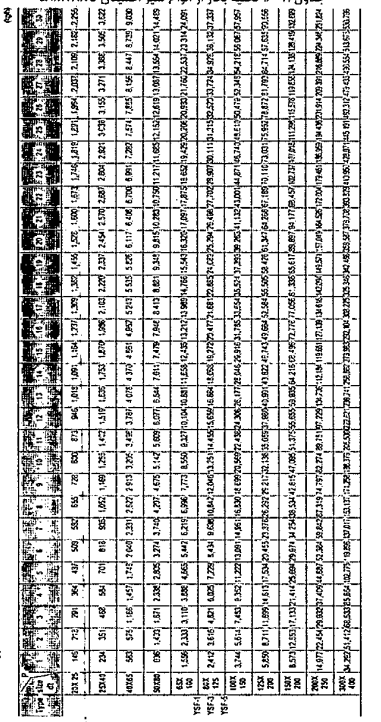
ابتدا با توجه به حداکثر و حداقل فشار قابل تنظیم شیر اطمینان و جنس قطعات به‌کار رفته در شیر و دمای قابل تحمل توسط شیر، مطابق نیازمان نوع شیر را انتخاب می‌کنیم. شکل۱۳-۳۱ مشخصات انواع شیر اطمینان ساخت شرکت SAMYANG کره را نشان می‌دهد.

(Full Bore) ،YSF1,2 نوع شیر: اهرم دار – بدون اهرم کاربرد: دیگ‌بخار- منابع تحت فشار نوع اتصال: فلنج درا سیال: آب – هوا – بخار حد اکثر دما:۲۲۰°C فشار قابل تنظیم: حد اکثر ۱۰ اتمسفر	(Full Bore) ،YSF3.4 نوع شیر: اهرم دار – بدون اهرم کاربرد: دیگ‌بخار- منابع تحت فشار نوع اتصال: فلنچ درا سیال: آب – هوا – بخار حد اکثر دما:۲۲۰°C فشار قابل تنظیم: حد اکثر ۳۰ اتمسفر	(For Pump Relief) ،YRV1,2 نوع شیر: بدون اهرم کاربرد: در خط دهش پمپ نوع اتصال: فلنچ درا سیال: آب حد اکثر دما:۲۲۰°C فشار قابل تنظیم: حد اکثر ۳۰ اتمسفر
(Open Bonnet Full Bore) YSF3  نوع شیر: اهرم دار کاربرد: دیگ‌بخار- منابع تحت فشار نوع اتصال: فلنج درا سیال: بخار حد اکثر دما:۳۵۰°C فشار قابل تنظیم: حد اکثر ۳۰ اتمسفر	(Full Bore) ،YSF5,6 نوع شیر: اهرم دار – بدون اهرم کاربرد: دیگ‌بخار- منابع تحت فشار نوع اتصال: دنده سیال: آب – هوا – بخار حد اکثر دما:۲۲۰°C فشار قابل تنظیم: حد اکثر ۳۰ اتمسفر	(Low Lift) ،YSF1.2 نوع شیر: اهرم دار – بدون اهرم کاربرد: مبدل- مدار فشارشکن – دیگ آب‌گرم نوع اتصال: دنده سیال: آب – هوا – بخار حد اکثر دما:۲۲۰°C فشار قابل تنظیم: حد اکثر ۱۰ اتمسفر

شکل ۱۳-۳۱: انواع شیر اطمینان ساخت *SAMYANG*

سازندگان معتبر شیراطمینان به کمک نرم افزارهای کامپیوتری و تجهیزات دقیق شیر اطمینان را مورد آزمون ظرفیت قرار داده و جداول مربوط به آن را براساس نوع و سایز شیر اطمینان و فشار بخار پشت شیر ارائه می‌دهند که به کمک آن می‌توان به سادگی سایز شیر مورد نیاز را پیدا کرد.

جدول۱۳-۶: تخلیه بخار از انواع شیر اطمینان SAMYANG



شیر فشارشکن[1] (تقلیل فشار)

وظیفه شیر فشارشکن تقلیل فشار بخار در نقطه مصرف بنابر نیاز مصرف کننده‌ها است. هدف از تولید بخار و انتقال آن در واقع انتقال انرژی است. همانطور که گفتیم با افزایش فشار از حجم بخار کاسته شده و چگالی آن افزایش می‌یابد در نتیجه برای انتقال بخار با فشار بالاتر براساس رعایت سرعت مجاز در خط انتقال به لوله و شیرآلات کوچک‌تری نیاز است. بنابراین هزینه نصب و اجراء و عایق کاری سیستم کاهش یافته و میزان تولید کندانس در خط انتقال کاهش می‌یابد و در نتیجه به تله‌بخارهای کمتری

1- Pressure regulator Valve

برای تخلیه آن احتیاج است. همچنین آنتالپی بخار هرچه فشار را بالاتر ببریم بالاتر خواهد رفت. بنابراین افزایش فشار به بویلر کمک می‌کند توان مقابله با تغییرات ناگهانی مصرف را داشته باشد و دچار Carry Over نشود.اما این فشار بالا می‌بایست متناسب با نیاز مصرف کننده‌های بخار تقلیل پیدا کند.

طبق قانون بقای انرژی، انرژی بخار در دو طرف فشارشکن برابر است و با کاهش فشار چنانچه بخار ورودی به فشارشکن اشباع و خشک باشد در طرف دیگر سوپرهیت خواهد شد. و اگر مرطوب باشد ابتدا به بخار خشک تبدیل شده و در صورت وجود مازاد انرژی به بخار سوپرهیت تبدیل خواهد شد. کاهش فشار بخار دارای مزایای دیگری نیز هست که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

با توجه به رابطه فشار و دما می‌توان با کنترل فشار دمای بخار را نیز کنترل نمود. بارزترین مثال آن بخار در سیستم استریل‌کننده‌ها(اتوکلاو) است.

تقلیل فشار یعنی تقلیل بخار فلش و تقلیل بخار فلش یعنی تقلیل اتلاف انرژی. در دیگ‌خانه‌هایی که امکان استفاده از بخار فلش نمی‌باشد(تقریبا اکثر قریب به اتفاق دیگ‌خانه‌های کشور) هرچقدر که بتوانیم میزان بخار فلش را کاهش دهیم در واقع از اتلاف آب و انرژی جلوگیری کرده‌ایم. برای مثال چنانچه اختلاف فشار بخار یک مبدل با خط کندانس ۸ اتمسفر باشد ۱۴/۵٪ بخار فلش ایجاد خواهد شد که از طریق ونت به اتمسفر تخلیه می‌گردد. اما چنانچه با نصب فشارشکن فشار بخار ورودی را پایین بیاوریم و این اختلاف فشار را به ۲ اتمسفر کاهش دهیم میزان بخار فلش ۶/۵٪ خواهد شد.(بخاری که فشارش کاهش می‌یابد انرژی‌اش کاهش نمی‌یابد)

حذف رطوبت بخار: رطوبت موجود در بخار روی سطوح حرارتی قرار گرفته و از آنجاییکه ضریب انتقال حرارت آب ۱۵۰ بار ضعیف‌تر از آهن و ۶۰۰ بار ضعیف‌تر از مس است مانع از انتقال حرارت به محصول می‌گردد. اما با کاهش فشار، بخار مرطوب با گذر از فشارشکن براساس اختلاف انرژی بخار در فشار قبل و بعد از فشارشکن به بخار خشک‌تری تبدیل خواهد شد.

همواره تجهیزاتی که با فشار پایین کار می‌کنند قدری بزرگ‌تر از همان تجهیزات در فشار بالاتر هستند اما فشار پایین‌تر یعنی قیمت پایین‌تر.

در دیگ‌خانه‌هایی که از بخار فلش استفاده می‌شود می‌توان به کمک نصب شیر فشارشکن بر روی یک انشعاب از بخار زنده در صورت پاسخگو نبودن بخار فلش و یا قطع آن از بخار زنده برابر فشار بخار فلش استفاده نمود.

انواع فشارشکن بخار

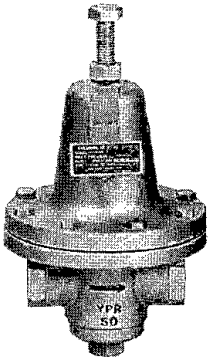
شیرهای فشارشکن بخار را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم کرد. الف)بدون پایلوت و با عملکرد مستقیم(Non pilot) ب)پایلوت‌دار(Pilot operated valve)

فشارشکن با عملکرد مستقیم[1]

این نوع از شیرهای فشارشکن قابلیت گذر بخار نسبتاً کمی داشته و در مقابل تغییرات فشار بخار ورودی، فشار خروجی در آنها تغییر می‌کند. علت این امر تنظیم فشار براساس میزان فشار فنر روی دیافراگم و بالانس فشار خروجی است. در بالای فشارشکن یک پیچ تنظیم وجود دارد که به کمک آن

1- Direct acting valve

می‌توان فشار وارده بر روی دیسک پایین شیر را تنظیم نمود. حال هرچه پیچ را سفت‌تر کنیم و در نتیجه فنر فشرده‌تر گردد این فشار بیشتر شده و در نتیجه فشار خروجی افزایش می‌یابد.



شکل ۱۳-۳۲: شیر فشارشکن با عملکرد مستقیم ساخت *SAMYANG*

بنابراین برای تنظیم در فشارهای خروجی مختلف تنها از یک فنر نمی‌توان کمک گرفت و می‌بایست بنابر فشار خروجی مورد نیاز از سازنده فنر مناسب را تهیه نمود.

برای مثال جدول سه رنج مختلف فنر برای تنظیم فشار را در فشارشکن‌های شرکت SAMYANG کره را نشان می‌دهد.

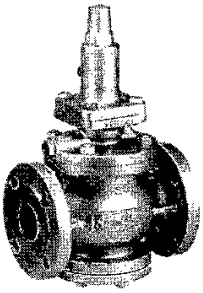
جدول ۱۳-۷: جدول شیر فشارشکن با عملکرد مستقیم ساخت *SAMYANG*

Applicable fluid		Steam
Primary pressure		Maximum 14 kgf/cm²g
Secondary pressure regulating range		0.2~1 kgf/cm²g (for low pressure), 1~2 kgf/cm²g (for medium pressure), 2~10 kgf/cm²g (for standard pressure)
Maximum pressure reduction ratio		10:1
Minimum differential pressure in the inlet and outlet side of the valve		0.5kgf/cm²
Fluid temperature		220°C below
Leakage allowance		0.05% less of rated flow
End connection		KS PT SCREW
Materials	Body	GC200
	Disc, seat	STS
Hydraulic test pressure		21 kgf/cm²g

این نوع از شیرها دارای محدودیت در سایز هستند و عموماً تا سایز "۱ ساخته می‌شوند. از آنجاییکه گذر بخار در آنها زیاد نیست عموماً در یونیت‌هیترها، اتوها، اتوکلاوهای کوچک، خطوط تریسر، گرم کنندها و کوئل‌های کوچک بخار کاربرد دارند.

نوع اتصال آنها دنده‌ای بوده و ابعاد کوچکی دارند و نسبت به سایر انواع فشارشکن در سایزهای مشابه قیمت کمتری دارند بنابراین می‌توان برای هر یونیت‌هیتر و یا اتو و... یک مدار فشارشکن مجزا در فضایی محدود اجراء نمود.

پایلوت‌دار[1]



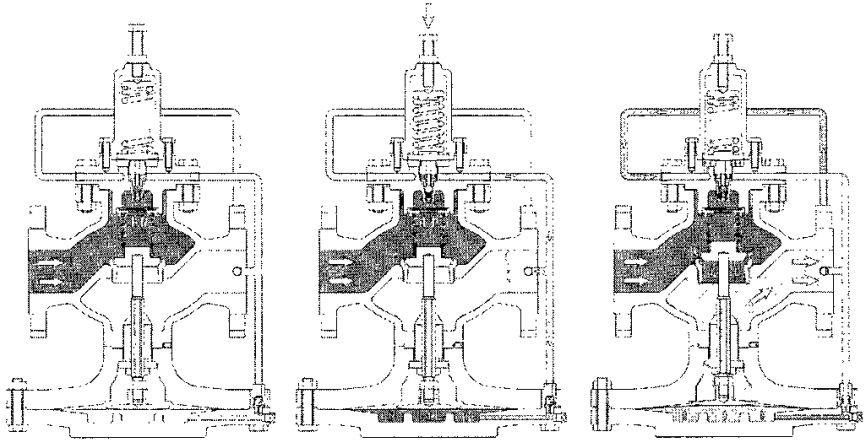
در این نوع از شیرهای فشارشکن به کمک پیچ تنظیم بالای شیر میزان فشار فنر بر روی پایلوت تغییر کرده و بدین ترتیب با بالانس شدن فشار خروجی در برابر نیرویی که فنر به دیافراگم وارد می‌کند فشار خروجی به میزان دلخواه تنظیم می‌گردد. تنظیم فشار خروجی بسیار آسان بوده و با توجه به طراحی ساده شیر هزینه تعمیر و نگهداری آن پایین است.

شکل ۱۳-۳۳: شیر فشارشکن پایلوت‌دار ساخت *SAMYANG*

تولید این نوع شیر در سایزهای مختلف پاسخگوی نیاز جریان‌های مختلف بخار است و در نتیجه کاربرد آنها را در مصارف مختلف میسر می‌سازد. نسبت تقلیل فشار در این نوع از فشارشکن‌ها حداکثر ۱:۱۰ است و شیر می‌تواند نسبت به تغییر فشار ورودی فشار خروجی را تا حد قابل قبولی ثابت نگه دارد.

پایلوت دیافراگم[2]

این نوع فشارشکن متشکل از یک دیافراگم تحتانی و یک شیر پایلوت فوقانی مجهز به فنر است که توسط لولهٔ مسی و یا استیل مطابق شکل با سیال در تماس است. فنر شیر پایلوت بر روی یک دیافراگم کوچک نیرو وارد می‌کند همچنین بخار پایین دست توسط لوله به قسمت تحتانی این دیافراگم متصل است و به‌آن نیرو وارد می‌کند.



شکل ۱۳-۳۴: انواع شیر اطمینان ساخت *SAMYANG*

زمانی که فشار خروجی از نقطه تنظیم شده کمتر باشد فشار فنر از نیروی تحتانی بیشتر شده و دیافراگم را به پایین هل می‌دهد و درنتیجه شیر پایلوت گشوده می‌شود.

با بازشدن شیر پایلوت بخار اجازه عبور پیدا کرده و توسط لوله به زیر دیافراگم اصلی در قسمت

1- Pilot Type

2- Pilot Diaphragm فیلم آموزشی ۱۳-۱۲ را ببینید

تحتانی شیر هدایت می‌شود.

پس از ورود بخار به قسمت زیر دیافراگم بخار به دیافراگم نیرو وارد کرده و سبب غلبه بر نیروی فنر برگشت شده، شیر اصلی باز می‌شود و بخار به‌سمت مصرف کننده‌ها حرکت می‌کند.

با بالا رفتن فشار بخار در پایین دست، شیر پایلوت دیافراگم وارد عمل شده و میزان باز بودن شیر پایلوت را تعدیل می‌کند بنابراین فنر برگشت شیر اصلی را فشار داده و بخار محبوس در زیر دیافراگم قسمت تحتانی را توسط لوله تخلیه می‌کند.

بدین‌ترتیب به‌کمک فشار بخار و فشار زیر دیافراگم اصلی میزان باز و یا بسته بودن شیر اصلی تعیین می‌شود. به‌همین دلیل است که واکنش این نوع از شیرهای فشارشکن سریع است و می‌توانند در سایزهای مشابه گذر بخار بیشتری نسبت به شیرهای PilotType داشته باشند. بنابراین با توجه به قیمت نسبتاً بالای آنها توجه به میزان گذر بخار از آنها مهم به‌نظر می‌رسد. جدول ۸-۱۳ Cv انواع شیر فشارشکن ساخت SAMYANG را نشان می‌دهد.

شیرهای پایلوت دیافراگم با توجه به نوع عملکردشان می‌توانند در سایزهای مشابه گذر بخار بیشتری نسبت به شیرهای Pilot Type داشته باشند. بنابراین با توجه به قیمت نسبتاً بالای آنها توجه به میزان گذر بخار از آنها مهم به نظر می‌رسد. جدول ۸-۱۳ Cv انواع شیر فشارشکن ساخت SAMYANG را نشان می‌دهد.

جدول۱۳-۸: *Cv* انواع شیر فشارشکن ساخت *SAMYANG*

Category / Size	For steam		
	YPR-100	YPR-1S	YPR-50
15(½")	5	1	0.8
20(¾")	7.2	2.5	0.8
25(1")	10.9	4	1
32(1¼")	14.3	6.5	-
40(1½")	18.8	9	-
50(2")	32	16	-
65(2½")	60	25	-
80(3")	78	36	-
100(4")	120	100	-
125(5")	160	144	-
150(6")	245	256	-
200(8")	-	-	-
250(10")	-	-	-
300(12")	-	-	-
350(14")	-	-	-
400(16")	-	-	-

محاسبات

برای انتخاب شیر فشارشکن به دو شکل می‌توان عمل نمود:

۱- انتخاب شیر براساس Cv

۲- انتخاب شیر براساس نمودار(مراجعه شود به فصل ضمائم)

بر اساس Cv

در این روش Cv مورد نیاز شیر را براساس فشار ورودی و فشار خروجی و میزان بخار مورد نیاز محاسبه کرده و سپس با مراجعه به کاتالوگ شیر، سایز مناسب را انتخاب می‌کنیم.

الف)چنانچه اختلاف فشار ورودی و خروجی از نصف فشار ورودی کمتر باشد. از رابطه ۱۳-۳ استفاده می‌کنیم:

$$\Delta P < \frac{P_1}{2} \qquad Cv = \frac{EK}{13/67\sqrt{\Delta P(P_1 + P_2)}} \qquad (۳-۱۳)$$

که در آن:

P1: فشار ورودی(abs)

P2: فشار خروجی(abs)

P1-P2: ΔP

W: حداکثر گذر بخار Kg/hr

K: ضریب تصحیح

برای بخار اشباع برابر یک در نظر گرفته می‌شود

برای بخار سوپرهیت (درجه سوپرهیت× 0/0013)+K=1

ب) چنانچه اختلاف فشار ورودی و خروجی از نصف فشار ورودی بیشتر باشد از رابطه۱۳-۴ استفاده می‌کنیم:

$$\Delta P \geq \frac{P_1}{2} \qquad Cv = \frac{WK}{11/9P_1} \qquad (۴-۱۳)$$

که در آن:

W: حد اکثر گذر بخار Kg/hr

K: ضریب تصحیح

برای بخار اشباع برابر یک در نظر گرفته می‌شود

برای بخار سوپرهیت (درجه سوپرهیت ×0/0013)+K=1

تمرین

مطلوبست انتخاب سایز شیر فشارشکن مناسب برای تقلیل فشار بخار اشباع از *kgf/cm2* ۴/۵ به *kgf/cm2* ۲[1] چنانچه میزان گذر بخار مورد نیاز حداکثر Kg/hr ۶۸۰ باشد.

حل:

(۴/۵+۱) -(۲+۱) =۲/۵

(۴/۵+۱)/۲=۲/۷۵

در نتیجه:

$$\Delta P < \frac{P_1}{2}$$

۱- هر یک kgf/cm2 معادل bar ۰/۹۹ است

$$Cv = \frac{WK}{۱۳٫۶۷\sqrt{\Delta P\left(P_۱ + P_۲\right)}}$$

$$\frac{۶۸۰ \times ۱}{۱۳٫۶۷ \times \sqrt{۲٫۵ \times \left(۵٫۵ + ۳\right)}} = ۱۰٫۷$$

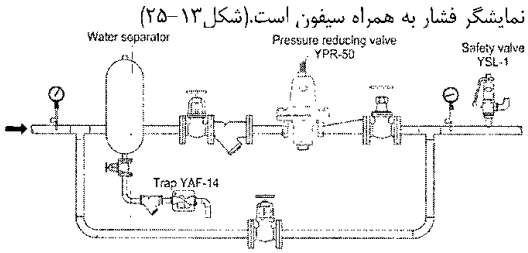
با مراجعه به جدول Cv(۱۳-۸)

- نوع پایلوت دیافراگم سایز"۱ مناسب است.
- نوع پایلوت سایز"۲ مناسب است.

شیرهای پایلوت دیافراگم در برابر ارتعاشات در سیستم حساس هستند فلذا چنانچه در خروجی این نوع فشارشکن احتیاج به نصب شیر برقی است برای جلوگیری از ارتعاش می‌بایست شیر برقی را تا جای ممکن دورتر از فشارشکن نصب نمود.

مدار فشارشکن

یک مدار فشارشکن شامل سپریتور، صافی، شیرهای قطع و وصل، خط بای‌پس، تبدیل افزاینده، سوپاپ اطمینان و نمایشگر فشار به همراه سیفون، است.(شکل۱۳-۲۵)



شکل ۱۳-۳۵: شماتیک نصب شیر فشارشکن بخار

برای جلوگیری از ورود آب همچنین ذرات خارجی به همراه بخار به داخل شیر فشارشکن، بخار باید قبل‌از ورود به فشارشکن از سپریتور و صافی گذرانده شود. وجود رطوبت در بخار به خصوص در شیرهای پایلوت دیافراگم به مرور زمان ایجاد مشکل می‌کند و شیر را از کار می‌اندازد.

نصب صافی نیز برای جلوگیری از ورود ذرات خارجی به داخل فشارشکن امری الزامی است. شیرهای قطع و وصل(قبل و بعد) فشارشکن باید براساس حجم و فشار بخار عبوری محاسبه و انتخاب شوند تا افت فشار زیادی در آنها اتفاق نیافتد و همچنین باعث خوردگی در فشارشکن نشوند.

کاهش فشار بخار باعث افزایش حجم آن می‌شود که این افزایش حجم در فشارهای کمتر از۷ اتمسفر با شیب تندتری صورت می‌گیرد. بنابراین برای آنکه سرعت حرکت بخار در خروجی فشارشکن مجاز باشد باید قطر خروجی را افزایش داد. برای این کار از تبدیل افزاینده استفاده می‌شود. بنابراین سایز شیر بعد از فشارشکن همواره بزرگتر از شیر قبل از آن خواهد بود.

چنانچه بخار بعد از فشارشکن به سمت مصرف کننده‌ای می‌رود که تحمل فشار قبل از فشارشکن را ندارد می‌بایست یک شیر اطمینان در خروجی شیر فشارشکن نصب شود تا از آسیب احتمالی به تجهیز مورد نظر جلوگیری شود.

شیر اطمینان می‌تواند قبل یا بعد از شیر خروجی بخار از فشارشکن نصب شود. چنانچه شیر اطمینان بعد از شیر خروجی نصب شود(شکل۱۳-۳۵) در این صورت چنانچه شیر فشارشکن به هر دلیل از مدار

خارج شود و شیر بای‌پس وظیفه انتقال بخار را به عهده داشته باشد شیر اطمینان می‌تواند از بالا رفتن فشار بیش از حد و آسیب به تجهیزات کم فشار جلوگیری کند.

اما گاهی برای آنکه بتوانند به سادگی شیر اطمینان را تنظیم کنند آن را قبل از شیر خروجی نصب می‌کنند. بدین ترتیب با بستن شیر خروجی بخار و تغییر دادن فشار خروجی فشارشکن می‌توان فنر شیر اطمینان را به‌راحتی تنظیم نمود.

نمایشگرهای فشار نیز از جمله موارد مهم در مدار فشارشکن هستند. زیرا به کمک آنها اولاً در زمان راه‌اندازی برای تنظیم فشار خروجی استفاده می‌شود و ثانیاً اپراتور دیگ‌خانه در هر زمان می‌تواند نسبت به عملکر صحیح فشارشکن مطلع شود. نکته مهم در ارتباط با نصب نمایشگرهای فشار رعایت فاصله مناسب است. در خروجی فشارشکن برای آنکه نمایشگر صحیح عمل کند می‌بایست حداقل فاصله ۵ برابر قطر لوله را رعایت نمود.

جزء دیگر از مدار فشارشکن شیر بای‌پس است. از شیر بای‌پس در مدار فشارشکن به عنوان شیر (Warm Up) نیز یاد می‌شود. از آن اولاً برای گرم کردن سیستم در استارت اولیه می‌توان بهره گرفت و ثانیاً اگر فشارشکن به هر دلیل دچار نقص فنی گردید و از مدار خارج شد چنانچه اپراتور دیگ‌خانه مهارت کافی را داشته باشد می‌تواند با تنظیم شیر، بخار مورد نیاز تجهیزات را تامین کند. نکته مهم در این ارتباط سایز بای‌پس است. از آنجاییکه شیر اطمینان براساس گذر بخار عبوری معادل ۱۰٪ فشارشکن طراحی گردیده است چنانچه سایز بای‌پس برابر سایز فشارشکن طراحی گردد توان خروج بخار به میزان کافی را نداشته و ممکن است این افزایش فشار به تجهیزات مصرف‌کننده فشار ضعیف و حساس آسیب بزند. بنابراین همواره سایز خط بای‌پس کوچکتر از سایز فشارشکن خواهد بود.

کیفیت شیر بای‌پس می‌بایست بسیار مطلوب باشد و به هیچ عنوان در زمان بسته بودن نشتی نداشته باشد زیرا در زمانی که مصرف بخار قطع می‌شود نشتی از خط فشار قوی به خط فشار ضعیف باعث افزایش فشار درخروجی فشارشکن شده و اپراتور را نسبت به عملکرد ناصحیح فشارشکن دچار تردید می‌کند.

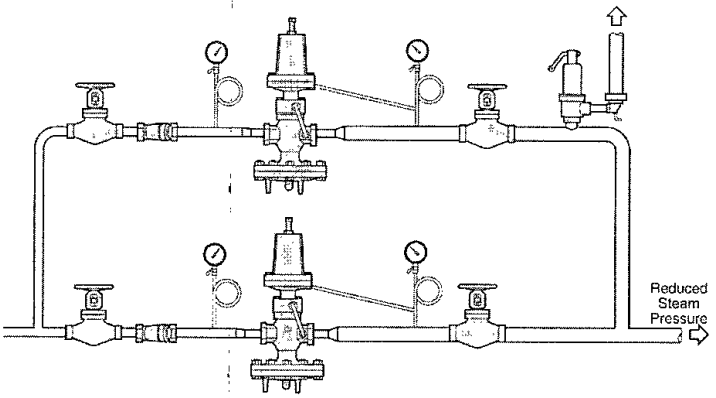
نصب موازی

در مواردی که امکان قطع بخار فشار ضعیف به هیچ عنوان وجود ندارد(مثلاً بخار ارسالی به سمت چیلر جذبی یک هتل یا بیمارستان) نصب یک مدار فشارشکن به‌تنهایی مجاز نیست و می‌بایست یک مدار فشارشکن دیگر به صورت موازی با شیر اول اجرا گردد تا بدین ترتیب از تامین بخار دائم برای مصرف کننده‌ها با فشار مناسب اطمینان حاصل گردد.

همچنین در مواردی که احتیاج به حجم زیادی از بخار باشد ممکن است شیر فشارشکن با سایز مناسب یا موجود نباشد و یا قیمت، ابعاد و یا وزن وحجم شیر آنقدر زیاد باشد که قابلیت اجراء نداشته باشد. همچنین استفاده از یک شیر بزرگ ممکن است تبعاتی را در پی داشته باشد و چنانچه به هر دلیل از مدار خارج شود کل بخار قطع خواهد شد. در این شرایط نیز از دو شیر به صورت موازی بهره می‌گیرند.

در مواردی که تلرانس مصرف (حداقل و حداکثر) بخار مورد نیاز زیاد است می‌توان دو شیر را به صورت موازی نصب نمود در اوج مصرف هردو با هم و در بار کم یکی از آنها عمل کند. در این شرایط می‌بایست فشار تنظیمی یکی ازشیرها قدری کمتر از شیر دیگر باشد.

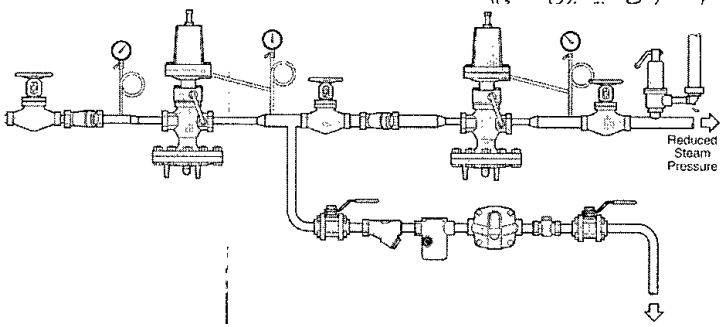
در نصب موازی می‌توان برای هر فشارشکن یک شیراطمینان مجزا در نظر گرفت و یا یک شیراطمینان برای هردو نصب نمود.



شکل ۱۳-۳۶: شماتیک نصب موازی فشارشکن بخار

نصب سری

فشارشکن‌های بخار دارای فاکتوری هستند به‌نام نسبت تقلیل فشار(Max Pressure Reduction Ratio) که این عدد برای فشارشکن‌های با عملکرد مستقیم و پایلوت‌دار ۱:۱۰است و برای شیرهای پایلوت دیافراگم ۱:۲۰ است. حال چنانچه نسبت تقلیل فشار بیش از این نسبت باشد باید دو فشارشکن را به صورت سری و پشت سر هم نصب نمود. از طرف دیگر اختلاف زیاد فشار باعث افزایش شدید حجم بخار بعد از فشارشکن شده و در تبدیل افزاینده جریان واگرا با سرعت بالای حرکت بخار صدا ایجاد می‌کند.(عملکردی شبیه بوق کشتی)



شکل ۱۳-۳۷: شماتیک نصب سری فشارشکن بخار

نصب تله‌بخار

در زمانی که مصرف بخار قطع می‌شود بخاری که بین دو فشارشکن وجود دارد به کندانس تبدیل می‌شود. این کندانس می‌بایست با نصب تله‌بخار از مدار تخلیه گردد. در غیر این صورت با شروع مصرف و حرکت بخار با سرعت زیاد آب ناشی از کندانس را با سرعت زیاد حرکت داده و باعث ایجاد ضربه‌قوچ در شیر دوم خواهد شد. در نصب سری احتیاج به دو شیراطمینان نیست و نصب یکعدد شیراطمینان در

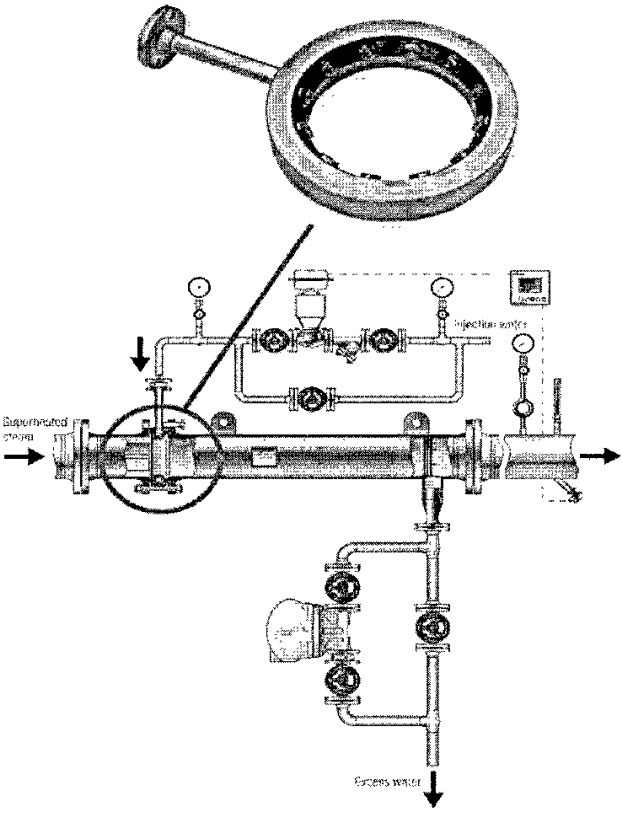
انتهای خط کفایت می‌کند.

فشارشکن و بخار سوپرهیت

همانطور که پیشتر گفتیم تقلیل فشار در صورت خشک بودن بخار موجب سوپرهیت شدن بخار خروجی می‌گردد. این اتفاق در اختلاف فشارهای کم با توجه به رطوبت بخار یا اتفاق نمی‌افتد و یا بسیار ناچیز است. (بخار با درجه کمی سوپرهیت می‌شود)

اما در مواردی که اختلاف فشار زیاد است و بخار فشار ضعیف برای دستگاه حساسی مانند چیلر جذبی ارسال می‌شود بخار سوپرهیت با درجه بالا می‌تواند در عملکر چیلر اختلال ایجاد نماید.

برای رفع این معضل می‌توان به کمک دی‌سوپرهیتر دمای بخار را به دمای اشباع نزدیک کرد. عملکر دی سوپرهیتر بسیار ساده است و به کمک یک نازل سردکننده (Injection Cooler) آب به بخار سوپرهیت تزریق می‌شود و موجب کاهش دمای آن می‌شود. آب کندانس برای این منظور بسیار مفید است زیرا کیفیت مطلوبی دارد. اما چنانچه استفاده از آب کندانس مقدور نباشد باید از آب با کیفیت مناسب برای پاشش به سمت بخار استفاده شود.



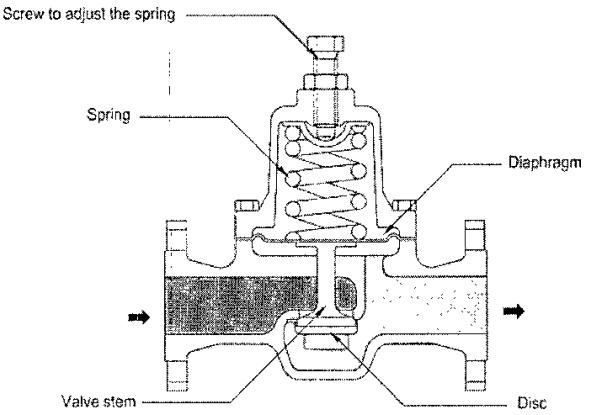
شکل ۱۳-۳۸: شماتیک دی‌سوپرهیتر

فشارشکن آب

فشارشکن‌های سیالات تراکم ناپذیر مانند آب عملکرد ساده‌تری نسبت به فشارشکن‌های بخار دارند. این فشارشکن‌ها نیز بر دو نوع‌اند.

عملکرد مستقیم

در این نوع فشارشکن فشار خروجی توسط فشار فنر بر روی دیافراگم بالایی شیر کنترل می‌شود. در بالای شیر یک پیچ تنظیم وجود دارد که به کمک آن میزان فشار بر روی دیافراگم را می‌توان تنظیم نمود. چنانچه فشار جریان خروجی کمتر از فشار فنر روی دیافراگم باشد فشار فنر اجازه عبور جریان را می‌دهد و چنانچه فشار خروجی بیشتر شود جریان قطع می‌گردد. بدین ترتیب همواره فشار به اندازه تنظیم شده ثابت باقی خواهد ماند.



شکل ۱۳-۳۹: شماتیک فشارشکن آب با عملکرد مستقیم

پایلوت‌دار

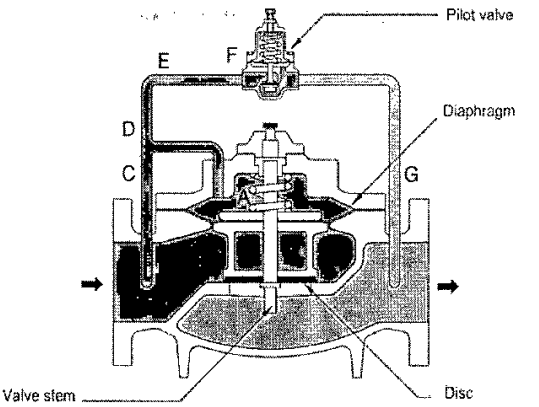
شیر نوع پایلوت از دو بخش تشکیل شده است.

۱)شیر اصلی(Main Valve)

۲)شیر کمکی(Auxiliary Valve)

شیر کمکی خود یک شیر فشارشکن با عملکرد مستقیم است که به ورودی و خروجی جریان و به بخش پشت دیافراگم شیر اصلی متصل است.(شکل۱۳-۴۰) چنانچه فشار خروجی کمتر از فشار تنظیم شده باشد شیر کمکی باز می‌شود و جریان از محورCDEF به سمت نقطه G حرکت می‌کند. بدین ترتیب آب از نقطه A (محدوده بالای دیافراگم شیر اصلی) به طرف نقطه D و از آنجا به سمت نقطه G حرکت می‌کند. خروج آب از محدوده A باعث بالا رفتن دیافراگم و باز شدن شیر اصلی می‌شود.

زمانی که فشار خروجی بالاتر از میزان تنظیم شده برود شیرکمکی بسته می‌شود و جریان در نقطه G قطع می‌شود و در نتیجه فشار در محدوده CDEF بالا رفته و محدودهA از آب پر می‌شود. در نتیجه دیافراگم با فشار آب رو به پایین حرکت می‌کند. بدین ترتیب فشار همواره ثابت می‌ماند.

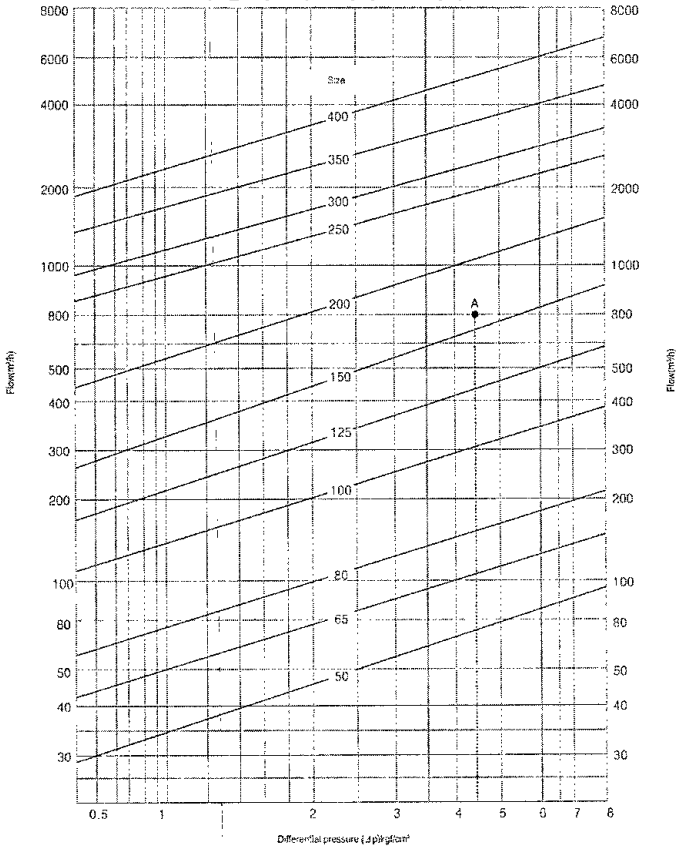


شکل ۱۳-۴۰: شماتیک عملکرد فشارشکن آب پایلوت‌دار *SAMYANG*

انتخاب شیر پایلوت‌دار

حداقل سایز شیرهای فشارشکن پایلوت‌دار آب DN50 است و از آنها برای جریان‌های بزرگ آب استفاده می‌شود. و در مقایسه با شیرهای با عملکرد مستقیم در سایزهای برابر جریان بیشتری را می‌تواند از خود عبور دهد. انتخاب شیرهای فشارشکن پایلوت‌دار مانند شیرهای با عملکرد مستقیم است و به کمک نمودار و اختلاف فشار ورود و خروج می‌توان آنرا محاسبه نمود.

نمودار ۱۳-۹: نمودار انتخاب فشارشکن آب



تمرین:

مطلوبست انتخاب سایز مناسب فشارشکن آب برای سیستمی با فشار۹*kgf/cm2* چنانچه به ۸۰۰ مترمکعب بر ساعت آب با فشار ۴/۵ *kgf/cm2* احتیاج باشد.

حل:

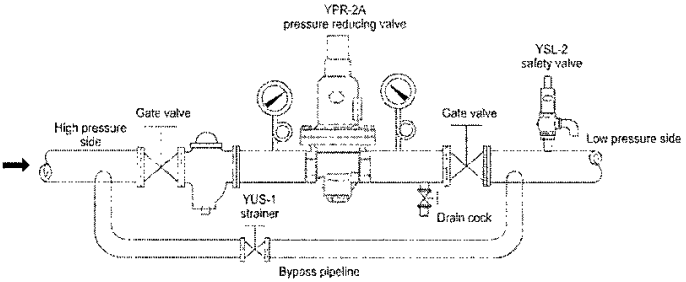
با توجه به فشار ورودی ۹ و خروجی۴/۵اختلاف فشار دو سر فشارشکن معادل ۴/۵ *kgf/cm2* خواهد بود.

از محور افقی پایین نمودار از نقطه ۴/۵ *kgf/cm2* خطی عمودی به سمت بالا رسم می‌کنیم تا محور افقی دبی مورد نیاز معادل ۸۰۰ متر مکعب بر ساعت را قطع نماید(نقطهA)

از آنجاییکه نقطه A مابین سایزDN150 و DN200 است سایز بزرگتر را برمی‌گزینیم.

نصب

نصب فشارشکن‌های آب دارای پیچیدگی خاصی نبوده و به دلیل تراکم ناپذیری آب در ورودی و خروجی فشارشکن سایز تغییری نکرده و برابر است.

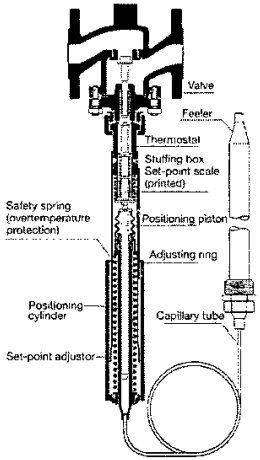


شکل ۱۳-۴۱: نصب فشارشکن آب

شیر ترموستاتیک[1]

به جرات می‌توان گفت تجهیزات افزایش دمای سیال ثانویه توسط بخار و یا آب‌گرم بویلر پرکاربردترین نوع تجهیزات در دیگ‌خانه هستند. کنترل دمای سیال ثانویه در این تجهیزات از طریق کنترل ورود بخار و یا آب‌گرم ورودی به آنها صورت می‌گیرد و بعضاً در برخی از فرآورده‌های خاص این محدوده دمایی بسیار کوچک بوده و نیازمند کنترل بسیار دقیقی است. شیرهای کنترل ترموستاتیک را می‌توان یکی از بهترین گزینه‌ها برای این منظور دانست.

این شیرها از نوع خود عملگر بوده و به هیچ نیروی خارجی (نئوماتیکی، الکتریکی) احتیاج ندارند. اساس عملکرد آنها براساس انبساط مایع داخل سنسور آنهاست. شیرهای ترموستاتیک از قسمت‌های پایه شیر، ترموستات، سنسور و لوله انتقال روغن تشکیل شده‌اند.



شکل ۱۳-۴۲: قسمت‌های مختلف شیر ترموستاتیک

1- Thermostatic Valve

پایه شیر ترموستاتیک بر روی خط بخار و یا آب‌گرم نصب می‌شود و به کمک فنر روی ترموستات بنا به نیاز سیستم می‌تواند نرمال باز و یا نرمال بسته باشد. سنسور در داخل سیال قرار گرفته و با تغییرات درجه حرارت روغن داخل سنسور منبسط و یا منقبض می‌شود و در نتیجه حجم آن کم و یا زیاد می‌شود. این افزایش و کاهش حجم توسط لوله انتقال روغن به سمت پایه شیر منتقل شده و سبب باز و بسته شدن آن می‌گردد.

سنسورها انواع گوناگونی دارند و تنظیم دمای عملکرد آنها براساس تغییر در حجم موجود در سنسور است. روی سنسورها یک پیچ تنظیم وجود دارد که با چرخاندن آن یک پیستون وارد سنسور شده و از حجم آن می‌کاهد. در نتیجه با کاهش فضای روغن در سنسور شیر در دمای پایین‌تری بسته می‌شود.

انواع پایه

دوراهه: همانطور که گفتیم بخار پس از ورود به تجهیز با کندانس شدن انرژی نهان تبخیر خود را پس می‌دهد. بنابراین با کاهش ریتم بخار ورودی و ایجاد کندانس در داخل تجهیز فشار بخار و در نتیجه دمای آن کاهش می‌یابد. این امر تا آنجا می‌تواند ادامی پیدا کند که بخار ورودی به طور کامل قطع شود. بنابراین می‌توان با نصب شیر دوراهه بر روی خطوط بخار کنترل دمای سیال ثانویه را به‌دست گرفت.(البته نصب آبگیر قبل از شیر ترموستاتیک الزامی است)

سه راهه: اما در سیستم‌های آب‌گرم درصورت نصب شیر دوراهه با بسته شدن شیر، آب پشت آن راکد مانده و سرد می‌شود. (در سیستم سرمایش گرم می‌شود) در زمان مورد نیاز و انقباض روغن پایه باز شده و آب را وارد مبدل می‌کند. ورود این آب سرد سبب می‌شود کنترل دمای سیال ثانویه دچار اختلال شود. از طرف‌دیگر با نصب شیر دوراهه برروی سیستم گردشی آب‌گرم عملکرد پمپ‌سیرکولاسیون را دچار مشکل خواهد کرد.

شیرهای سه‌راهه ترموستاتیک قادراند با مخلوط کردن جریان، دمای سیال ثانویه را کنترل کرده و از بروز آسیب به پمپ جلوگیری کنند.

مزایا:

- شیرهای ترموستاتیک از نوع خود عملگر بوده و به هیچ نیروی خارجی (نئوماتیکی ، الکتریکی) احتیاج ندارند.
- با انتخاب غلاف مناسب برای سنسور می‌توان از آنها برای تمامی سیالات از جمله سیالات خورنده استفاده نمود.
- عملکرد آنها پیچیده نبوده و در نتیجه به تعمیر و نگهداری خاصی احتیاج ندارند.
- در محیط‌هایی که خطر انفجار وجود دارد به دلیل عملکرد مکانیکی قابل اطمینان هستند.
- می‌توانند با کیفیت بخار نسبتاً پایین نیز کار نمایند.

معایب:

- سرعت عملکرد آنها به دلیل انتقال نیرو توسط روغن پایین بوده و در نتیجه در مواردی که به دقت و سرعت بالا برای کنترل دمای سیال ثانویه نیاز است مناسب نیستند.

سپریتور[1]

دیگ‌های بخار در بهترین حالت می‌توانند بخاری با ضریب خشکی ۹۵٪ تولید کنند. حال چنانچه به دلایل ۴ گانه که پیش‌تر گفتیم عملکرد بویلر دچار اختلال گردد ضریب خشکی بخار تضعیف می‌شود. از طرفی در خط انتقال بخار نیز بخشی از بخار به دلیل تبادل حرارتی به کندانس تبدیل می‌شود.

در اینجا ذکر این نکته ضروری است که آبی که همراه با بخار از بویلر خارج می‌شود دارای TDS بالایی است. (حدود۳۰۰۰ppm) اما آب ناشی از کندانس در خطوط آب خالص است و قطعاً می‌بایست بین این دو تفکیک قائل شد.

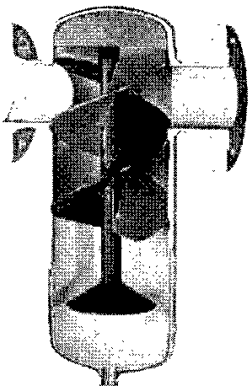
اصول کار سپریتورها براساس اینرسی حرکتی استوار است و وظیفه آنها جدایش این آب‌ها از بخار است تا بدین ترتیب ضریب خشکی بخار را بهبود ببخشند. بخار خشک دارای محاسنی است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱-افزایش عمر شیرهای کنترل و فشارشکن‌های بخار
۲-جلوگیری از خوردگی
۳-جلوگیری از بروز ضربه‌قوچ
۴-افزایش راندمان انتقال حرارت
۵-افزایش کیفیت تولید محصولاتی که در تماس مستقیم با بخار هستند.

انواع سپریتور

سپریتور گردابی[2]

همان‌طور که از نام آن پیداست جدایش آب و بخار در داخل آن توسط ایجاد گرداب صورت می‌پذیرد. بخار پس از ورود به سپریتور داخل پره‌هایی قرار می‌گیرد که بخار را وادار به حرکت ۱۸۰ درجه‌ای گردابی شدیدی می‌کند. نیروی گریز از مرکز حاصل از این گردش قطرات آب را که جرم حجمی بیشتری نسبت به بخار دارند جدا کرده و به سمت دیواره سپریتور پرتاب می‌کند. در انتهای مرحله گردابی یک تیغه جداکننده وجود دارد که حرکت گردابی در این نقطه ختم شده و آب به سمت خروجی پایین سپریتور هدایت می‌شود. در این نوع از سپریتورها محلی برای نصب ایرونت در بالای سپریتور وجود ندارد.



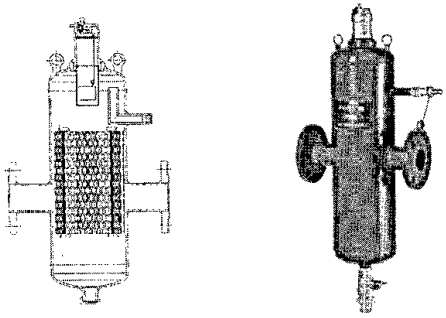
شکل ۱۳-۴۳: سپریتور گردابی

1- Seperator
2- Cyclonic Separator

از سپریتورهای گردابی می‌توان برای جدایش آب یا روغن از هوا و یا سایر گازها نیز استفاده کرد. البته از آنجاییکه ایجاد حرکت گردابی مستلزم سرعت حرکت گاز است در صورت استفاده از سپریتورهای گردابی باید به سرعت حرکت آن گاز کاملاً توجه کرد.

سپریتور انعقادی[1]

این نوع از سپریتورها که بیشتر برای جدایش آب از هوا کاربرد دارد به کمک شبکه توری داخل خود که عموماً از جنس استنلس استیل ساخته می‌شود در برابر حرکت گاز (هوا یا بخار) مانع ایجاد می‌کند. قطرات آب بر روی شبکه گیر افتاده و تشکیل قطرات بزرگ‌تری را می‌دهند. این قطرات بزرگ را گاز نمی‌تواند با خود حمل کند و به صورت ثقلی از زیر سپریتور خارج می‌شود.



شکل ۱۳-۴۴: سپریتور انعقادی ساخت SAMYANG

سپریتور پره‌ای[2]

به جرات می‌توان سپریتور پره‌ای را پر مصرف‌ترین نوع سپریتور دانست. عملکرد آنها براساس تغییر جهت جریان حرکت بخار به کمک پره‌های نصب شده در سپریتور است. با توجه به سرعت بالای بخار قطرات آب که جرم حجمی بیشتری نسبت به بخار دارند توان همراهی بخار در این تغییر جهت‌های ناگهانی را نداشته و از بخار جدا شده و به پره‌ها می‌چسبند و از پایین سپریتور به صورت ثقلی خارج می‌شوند.

شکل ۱۳-۴۵: سپریتور پره‌ای ساخت SAMYANG

1- Coalescence Separator
2- Baffle Separator

مهم‌ترین حسن این نوع از سپریتور حفظ راندمان خود در سرعت‌های مختلف حرکت بخار است. زیرا در سرعت‌های پایین سپریتور گردابی با توجه به جدایش آب توسط نیروی گریز از مرکز ضعیف عمل کرده و بنابراین همواره باید در آنها سرعت بالا نگه داشته شود.

در سرعت‌های خیلی بالا نیز امکان حمل مجدد آب در سپریتور گردابی زیاد است. اما وجود صفحات متعدد روی سپریتورهای پره‌ای مانع از حمل مجدد آب می‌شود. همچنین در بالای سپریتورهای پره‌ای محلی برای نصب ایرونت و یا وکیوم برکر وجود دارد.

کاربرد سپریتور

۱) دیگ‌بخار

نصب سپریتور روی خط اصلی خروجی بخار بعد از شیر اصلی و شیر یک‌طرفه بویلر بسیار سودمند است زیرا می‌تواند تا ۹۸٪ آب موجود در بخار تولید شده را از آن جدا کند. البته همانطور که گفتیم این آب کندانس نیست و آب داخل بویلر است که توسط بخار حمل شده است. بنابراینTDS آن بالا است و به هیچ عنوان بعد از خروج از تله‌بخار به سیکل کندانس بازگردانده نمی‌شود. همچنین به دلیل اختلاف زیاد فشار بویلر با اتمسفر میزان بخار فلش ایجاد شده نیز زیاد است. بنابراین لوله خروجی از تله باید به نقطه امنی هدایت شود.(پیت بتنی سیستم زیر آب بهترین نقطه برای تخلیه تله‌بخار سپریتور است)

در صنایعی که بخار بویلر در تماس مستقیم با محصول است مانند اتاق پخت که از تزریق مستقیم بخار به اتاق پخت استفاده می‌کنند وجود آب بویلر در داخل بخار با TDS بالا می‌تواند بر روی محصول ایجاد لک نماید.

تمرین:

چنانچه برای دیگ‌بخاری به ظرفیت $۳۰۰۰\ ^{Kg}/_{hr}$ با ضریب خشکی ۹۰٪ یک سپریتور با راندمان ۹۰٪ نصب گردد مطلوبست ضریب خشکی بخار بعد از سپریتور.

میزان آب در بخار برابر است

$۳۰۰۰\times۰/۱=۳۰۰\ ^{Kg}/_{hr}$

میزان آب در بخار بعد از سپریتور برابر است

$۳۰۰\times۰/۱=۳۰\ ^{Kg}/_{hr}$

ضریب خشکی جدید برابر است

$۳۰۰۰-۳۰=۲۹۷۰$

$(۲۹۷۰/۳۰۰۰)\times۱۰۰=۹۹٪$

شیر کنترل

وجود آب در بخار با توجه به سرعت بالای حرکت بخار در خط انتقال احتمال آسیب رساندن در اثر ضربه‌قوچ و خوردگی در سیت و پلاگ شیرهای کنترل را درپی دارد. همچنین در فشارشکن‌های پایلوت دیافراگم عملکرد شیر منوط به حضور بخار پشت دیافراگم شیر است بنابراین نصب سپریتور قبل از آنها و انتقال بخار خشک به داخل شیرهای فشارشکن امری ضروری است.

مبدل‌های حرارتی

رطوبت موجود در بخار روی سطوح حرارتی قرار گرفته و از آنجاییکه ضریب انتقال حرارت آب ۵۰ بار ضعیف‌تر از آهن و ۶۰۰ بار ضعیف‌تر از مس است مانع از انتقال حرارت به محصول می‌گردد. نصب سپریتور قبل از مبدل‌ها به بالا بردن راندمان آنها کمک می‌کند.

از دیگر نقاطی که سپریتور کاربرد دارد می‌توان به قبل از دستگاه اتوکلاو، رخشوی‌خانه وتوربین‌های بخار اشاره نمود.

انتخاب سپریتور

در انتخاب سپریتور به چند عامل می‌بایست توجه نمود:

۱. فشار و دمای بخار
۲. حداکثر سرعت بخار
۳. حداقل سرعت بخار
۴. افت فشار ناشی از سپریتور

در انتخاب سپریتور مناسب ابتدا می‌بایست با مراجعه به کاتالوگ سازنده به فشار و دمای قابل تحمل توسط سپریتور دقت نمود. جدول۱۳-۱۰ مشخصات سپریتور پره‌ای ساخت سامیانگ کره را نشان می‌دهد.

جدول ۱۳-۱۰: جدول مشخصات فنی سپریتور پره‌ای ***SAMYANG***

Applicable fluid	Steam	
Applicable pressure	Maximum 20 kgf/cm²g	
Fluid temperature	214° C below	
End connection	KS PT SCREW	KS 20K RF FLANGE
Materials	SPPS	
Hydraulic test pressure	35 kgf/cm²g	

نکته دیگر میزان حداکثر و حداقل گذر بخار و در نتیجه سرعت‌های متنوع بخار است. سپریتور برای آنکه بتواند بهترین راندمال را داشته باشد سرعت حرکت بخار و در نتیجه میزان افت ناشی از سپریتور حائز اهمیت است. چنانچه در انتخاب سایز سپریتور دقت کافی نشود ممکن است بالا رفتن بیش از حد سرعت و یا پایین آمدن بیش از حد سرعت باعث پایین آمدن راندمان سپریتور شود.

جدول۱۳-۱۱ براساس میزان گذر بخار در سپریتور نوع پره‌ای افت را در آن نشان می‌دهد. اعداد پررنگ موجود در جدول۱۳-۱۱ محدوده صحیح انتخاب سپریتور پره‌ای را در سایزهای مختلف و فشارهای مختلف بر حسب $^{LB}/_{h}$ نشان می‌دهد.

جدول ۱۳-۱۱: انتخاب سیر یتور پره‌ای

1/2 INCH

#/HR	PRESSURE (PSIG)								
	25	50	75	100	200	300	400	500	600
100	0.71	**0.45**	**0.33**	**0.26**	**0.15**	0.1	0.07	0.06	0.05
200	2.83	1.8	1.32	1.05	**0.62**	**0.39**	0.3	0.24	0.2
300	6.37	4.04	2.97	2.35	**1.39**	**0.88**	**0.67**	**0.54**	0.45
400	11.33	7.18	5.28	4.19	2.47	**1.56**	**1.19**	**0.96**	**0.81**
500	17.7	11.22	8.26	6.55	3.85	**2.44**	**1.86**	**1.5**	**1.27**
600	25.49	16.16	11.90	9.43	5.55	3.52	**2.69**	**2.16**	**1.82**

3/4 INCH

#/HR	PRESSURE (PSIG)								
	25	50	75	100	200	300	400	500	600
100	**0.22**	**0.14**	**0.1**	0.08	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02
200	0.89	**0.57**	**0.42**	**0.33**	**0.19**	0.12	0.09	0.08	0.06
300	2.01	1.27	0.94	**0.74**	**0.44**	**0.28**	0.21	0.17	0.14
400	3.57	2.26	1.66	1.32	**0.78**	**0.49**	**0.38**	0.3	0.25
500	5.57	3.53	2.6	2.06	**1.21**	**0.77**	**0.59**	**0.47**	0.4
600	8.02	5.08	3.74	2.97	1.75	**1.11**	**0.85**	**0.68**	**0.57**

1 INCH

#/HR	PRESSURE (PSIG)								
	25	50	75	100	200	300	400	500	600
200	0.76	**0.48**	**0.35**	**0.28**	**0.17**	0.1	0.08	0.06	0.05
300	2.11	1.34	0.98	**0.78**	**0.46**	**0.29**	0.22	0.18	0.15
400	4.13	2.62	1.93	1.53	**0.9**	**0.57**	**0.44**	0.35	0.3
500	6.83	4.33	3.19	2.53	**1.49**	**0.94**	**0.72**	**0.58**	**0.49**
700	13.21	8.47	6.26	4.98	2.93	**1.85**	**1.41**	**1.08**	**0.87**	**0.73**
1000	14.25	9.04	6.65	5.27	3.11	**1.97**	**1.5**	**1.21**	**1.02**
1500	18.98	12.02	8.85	7.02	4.14	2.62	**2**	**1.61**	**1.36**

1-1/4 INCH

#/HR	PRESSURE (PSIG)								
	25	50	75	100	200	300	400	500	600
500	0.89	**0.44**	**0.32**	**0.25**	**0.15**	0.1	0.07	0.06	0.05
700	1.66	0.99	**0.73**	**0.58**	**0.34**	0.22	0.16	0.13	0.11
1000	3.56	2.13	1.57	1.24	**0.73**	**0.46**	**0.35**	0.28	0.24
1250	4.24	2.75	2.02	1.6	**0.95**	**0.6**	**0.46**	0.37	0.31
1500	6.25	3.95	2.91	2.31	**1.36**	**0.86**	**0.66**	**0.53**	**0.45**
1750	8.5	5.28	3.92	3.14	1.85	**1.17**	**0.9**	**0.72**	**0.61**
2000	11.13	7.01	5.19	4.11	2.42	**1.53**	**1.17**	**0.94**	**0.79**

1-1/2 INCH

#/HR	PRESSURE (PSIG)								
	25	50	75	100	200	300	400	500	600
150	**0.24**	**0.15**	**0.11**	**0.09**	0.05	0.03	0.03	0.02	0.02
500	0.37	**0.24**	**0.17**	**0.14**	0.08	0.05	0.04	0.03	0.03
1000	1.49	0.95	**0.7**	**0.55**	**0.33**	0.21	0.15	0.12	0.1
2000	5.58	3.78	2.78	2.21	**1.3**	**0.82**	**0.63**	**0.51**	0.43
3000	13.45	8.62	6.27	4.87	2.93	**1.86**	**1.42**	**1.14**	**0.96**
4000	23.91	15.16	11.15	8.84	5.21	3.3	**2.52**	**2.03**	**1.71**

2 INCH

#/HR	PRESSURE (PSIG)								
	25	50	75	100	200	300	400	500	600
1000	0.94	**0.34**	**0.25**	**0.2**	0.12	0.07	0.06	0.05	0.04
2000	2.37	1.37	1.01	**0.8**	**0.47**	**0.3**	0.23	0.18	0.16
3000	4.98	3.59	2.28	1.8	**1.06**	**0.67**	**0.51**	**0.41**	0.35
4000	8.67	5.6	4.04	3.21	1.89	**1.2**	**0.91**	**0.74**	**0.62**
5000	13.55	8.53	6.32	5.01	2.95	**1.87**	**1.43**	**1.15**	**0.97**
6000	19.61	12.37	9.1	7.22	4.25	2.69	**2.06**	**1.66**	**1.4**

2-1/2 INCH

#/HR	PRESSURE (PSIG)								
	25	50	75	100	200	300	400	500	600
1000	**0.27**	**0.17**	**0.12**	**0.1**	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02
2000	1.07	0.68	**0.5**	**0.39**	**0.23**	0.15	0.11	0.09	0.08
3000	2.4	1.52	1.12	**0.89**	**0.52**	**0.33**	0.25	0.2	0.17
4000	4.27	2.71	1.99	1.58	**0.93**	**0.59**	**0.45**	0.36	0.31
5000	6.68	4.23	3.11	2.47	**1.45**	**0.92**	**0.7**	**0.57**	**0.48**
6000	9.61	6.09	4.48	3.55	2.09	**1.33**	**1.01**	**0.82**	**0.69**
7000	13.08	8.29	6.1	4.84	2.85	**1.81**	**1.38**	**1.11**	**0.94**

3 INCH

#/HR	PRESSURE (PSIG)								
	25	50	75	100	200	300	400	500	600
2000	0.45	**0.28**	**0.21**	**0.17**	0.1	0.08	0.06	0.04	0.03
4000	1.79	1.13	0.83	**0.66**	**0.39**	**0.25**	0.19	0.15	0.13
6000	4.02	2.55	1.87	1.48	**0.88**	**0.55**	**0.42**	0.34	0.29
8000	7.15	4.53	3.33	2.64	1.56	**0.99**	**0.75**	**0.61**	**0.51**
10000	11.17	7.08	5.21	4.13	2.43	**1.54**	**1.18**	**0.95**	**0.8**
12000	16.08	10.19	7.5	5.95	3.5	2.22	**1.69**	**1.37**	**1.15**
14000	21.89	13.87	10.21	8.09	4.77	3.02	**2.31**	**1.86**	**1.56**

4 INCH

#/HR	PRESSURE (PSIG)								
	25	50	75	100	200	300	400	500	600
4000	0.6	**0.38**	**0.28**	**0.22**	0.13	0.08	0.06	0.05	0.04
6000	1.34	0.85	0.62	**0.5**	**0.29**	0.19	0.14	0.11	0.1
8000	2.39	1.51	1.11	0.89	**0.52**	**0.33**	0.25	0.2	0.17
10000	3.75	2.37	1.74	1.38	**0.81**	**0.51**	**0.39**	0.32	0.27
12000	5.37	3.41	2.51	1.99	**1.17**	**0.74**	**0.57**	**0.46**	0.39
14000	7.32	4.64	3.41	2.71	1.59	**1.01**	**0.77**	**0.62**	**0.52**
16000	9.55	6.06	4.46	3.53	2.08	**1.32**	**1.01**	**0.81**	**0.68**

5 INCH

#/HR	PRESSURE (PSIG)								
	25	50	75	100	200	300	400	500	600
5000	**0.18**	**0.11**	**0.08**	0.07	0.04	0.02	0.02	0.02	0.01
10000	0.72	0.45	**0.33**	**0.27**	**0.16**	0.1	0.08	0.06	0.05
15000	1.62	1.02	0.75	**0.6**	**0.35**	**0.22**	0.17	0.14	0.12
20000	2.87	1.82	1.34	1.06	**0.63**	**0.4**	**0.3**	0.24	0.21
25000	4.49	2.85	2.09	1.66	**0.98**	**0.62**	**0.47**	**0.38**	0.32
30000	6.46	4.1	3.01	2.39	1.41	**0.89**	**0.68**	**0.55**	**0.46**
35000	8.8	5.58	4.1	3.25	1.92	**1.21**	**0.93**	**0.75**	**0.63**

تجهیزات اندازه‌گیری

فشار، دما، دبی و کنترل سطح مهم‌ترین کمیت‌هایی هستند که در دیگ‌خانه می‌بایست به طور دائم سنجیده شوند تا بدین ترتیب اپراتور بتواند از عملکر بویلر و سایر تجهیزات با خبر شود.

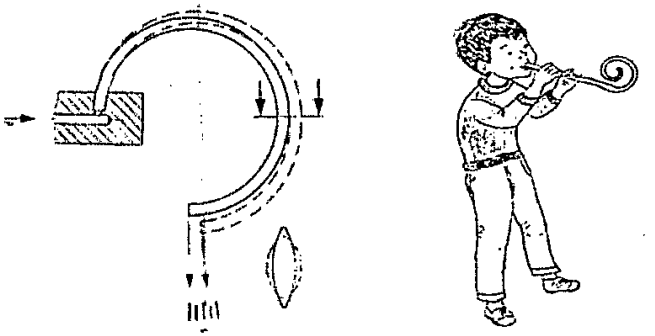
فشار

فشار کمیتی نرده‌ای است و برابر است با نیروی عمود وارد بر واحد سطح. فشاری که توسط گیج فشار نشان داده می‌شود، فشار نسبت به فشار هوای محیط است. فشار را با هر واحد نیرویی بخش بر هر واحد سطحی می‌توان نشان داد. واحد فشار در سیستم اس‌آی نیوتن بر مترمربع است که به افتخار بلز پاسکال ریاضی‌دان، فیزیک‌دان و فیلسوف فرانسوی پاسکال(Pa) نامیده می‌شود. پاسکال واحد نسبتاً کوچکی است. فشار هوا حدوداً ۱۰۰ هزار پاسکال است.

فشارسنج یا پرشر گیج[1]

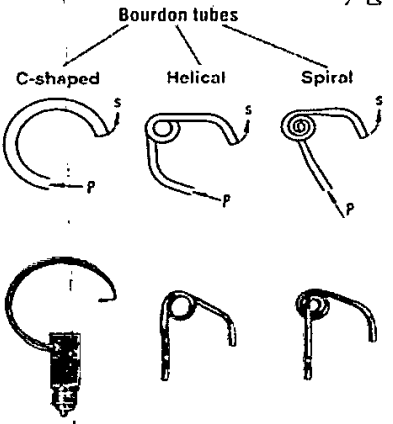
تجهیزات اندازه‌گیری فشار انواع مختلفی دارند اما پر کاربردترین نوع آن لوله ارتجاعی(Bourdon Tube Pressure) است.

فرانسیس بوردن مهندس فرانسوی در سال ۱۸۵۰ آنرا اختراع و به نام خود ثبت کرد. عملکرد بوردن فشار بر پایه استفاده از خاصیت ارتجاعی مواد در مقابل فشار است. اساس کار آن یک لوله C شکل (C-Tube) است. این لوله با زاویه ۲۵۰ درجه در داخل فشار سنج قرار دارد و یک سر آن مسدود بوده و سر دیگر در معرض فشار سیال مورد سنجش است. زمانی که فشار سیال در داخل بوردن بالا می‌رود در اثر اختلاف فشار درون و بیرون، لوله C شکل تمایل به راست شدن پیدا می‌کند. (مشابه بادکنک کاغذی کودکان)



شکل ۱۳-۴۶: عملکرد بوردن

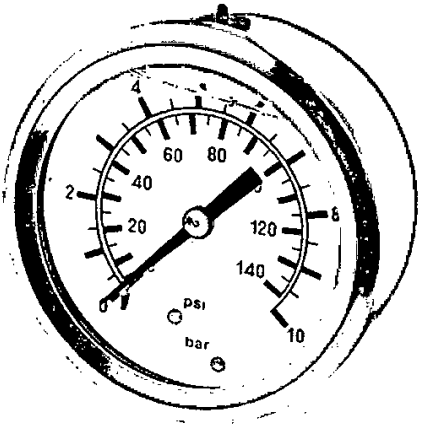
لوله‌C شکل(بوردن) بنابر فشار مورد اندازه‌گیری طراحی می‌شود و چنانچه فشاری بیش از فشار طراحی شده به آن وارد شود میزان راست شدگی در آن به‌حدی زیاد می‌شود که عملاً خاصیت فنریت خود را از دست می‌دهد. بوردن را معمولاً از برنج می‌سازند اما در فشار و دماهای بالا از استنلس استیل (فولاد ضد زنگ) نیز ساخته می‌شود.



جدول ۱۳-۴۷: انواع بوردن

1- Pressure Gage

بعضی از انواع فشارسنج‌ها قابلیت آن،را دارند که بتوان محفظه فشارسنج را از گلیسیرین پـر نمـود تـا بدین ترتیب گیج را در برابر حرکات سریع نشانگر ناشی از تغییرات ناگهانی فـشار در امـان نگـه داشـت و همچنین قطعات داخلی را از آسیب در مقابل ارتعاش و خوردگی محافظت کرد.



شکل ۱۳-۴۸: نمونه یک فشار سنج روغنی دو رنج(*bar-psi*)

یکای فشار

یکای فشار بر روی صفحه پرشر گیج‌ها درجه‌بندی شده است که پر کـاربردتـرین آنهـا در کـشورمان barوpsi است.

cm^2bar(kg/)

هر بار برابر با فشار یک کیلوگرم بر یک سانتیمتر مربع است. بار اولین بـار توسـط دانـشمند انگلیـسی ویلیام یاپرساو مطرح شد و تقریباً برابر یک اتمسفر است. (با اخـتلاف ۱٪ کمتـر) ایـن یکـا در کـشورهای اروپایی و کشورمان بیشترین کاربرد را دارد. هر یـک بـار برابـر ۱۰۰ کیلوپاسـکال و معـادل۱۰۲سـانتیمتر ستون آب است.

psi (lb_f/sq in)

پوند بر اینچ مربع یا پی‌اس‌ای فشار حاصل از نیروی یک پوندی بر سطح یک اینچ مربعی اسـت. ایـن یکا در واقع یکای استاندارد اندازه‌گیری فشار در ایالات متحده است. هر یک بار برابر با۱۵،۵۰۳۸پونـد بـر اینچ مربع است.

جدول ۱۳-۱۲: جدول تبدیل فشار

PRESSURE CONVERSION TABLE								
PSI	ATM	kgf/cm²	in.H_2O	mmHg	in.Hg	Kpa	Bar	mm H_2O
1	0.068046	0.070307	27.7276	51.715	2.03602	6.895	0.6895	704.28104
14.696	1	1.0332	407.484	760	29.921	101.325	1.01325	10350.0936
14.2233	0.96784	1	394.38	735.559	28.959	98.096	0.98067	10000
0.036092	0.002454	0.00253	1	1.8651	0.07343	0.249	0.00249	25.4
0.019336	0.001315	0.001359	0.53616	1	0.03937	0.1333	0.001333	13.618464
0.491154	0.0033421	0.03453	13.6185	25.4	1	3.3864	0.033864	345.9099
0.145	0.00987	0.010197	4.0186	7.5006	0.2953	1	0.01	102.07244
14.5038	0.98692	1.01972	402.156	750.062	29.53	100	1	10214.7624

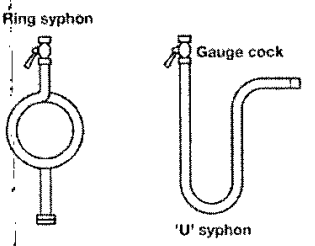
انتخاب فشارسنج

در انتخاب فشارسنج می‌بایست به نکات زیر توجه نمود:

- حداکثر دامنه اندازه‌گیری فشارسنج می‌بایست ۲-۱/۵ برابر مقدار فشار مورد اندازه‌گیری باشد
- فشارسنج را می‌بایست به صورت عمودی نصب نمود.
- فشارسنج را باید در محلی نصب نمود که در دسترس بوده و نور کافی برای مشاهده آن وجود داشته باشد و از گرد و خاک و رطوبت در امان باشد.

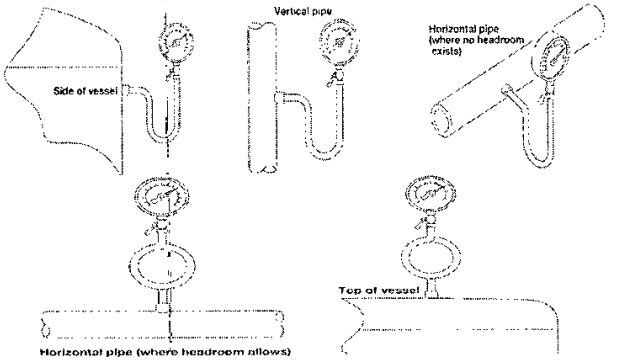
سیفون و شیر زیر مانومتر

در خطوط بخار برای آنکه دمای بالای بخار به فشارسنج آسیب نزند از یک سیفون قبل از فشارسنج استفاده می‌شود. همچنین برای جلوگیری از خوردگی نیز از سیفون‌ها استفاده می‌شود.



شکل ۱۳-۴۹: انواع سیفون

پر کاربردترین سیفون‌ها نوع ۱۸۰ درجه(Ring Syphon) و نوعU (U- Syphon) است. در خطوط بخار زمانی که قرار است برای اولین بار از فشار سنج استفاده شود می‌بایست سیفون را از آب یا روغن غیر خورنده پر نمود.



جدول ۱۳-۵۰: شماتیک نصب انواع سیفون

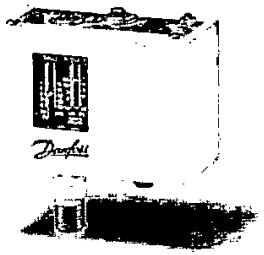
کلید فشار یا پرشرسوئیچ[1]

پرشرسوئچ یا کنترلر فشار جهت تنظیم فشار مخازن یا جلوگیری از افزایش فشار در محیط‌های تحت

1- Pressure switch

فشار در صنعت کاربرد فراوان دارد. معمولاً پرشر سوئیچ‌ها به صورت مکانیکی و نظیر فشارسنج‌ها با مکانیزم‌های بوردون یا دیافراگم و بلوز عمل می‌کنند. پرشرسوئیچ در نقطه ست‌پوینت یک رله را فعال نموده و با فرمان کنتاکت خود در خروجی به عنوان یک کنترلر On و Off عمل میکند.

در نمونه‌های دیجیتال و الکترونیکی به جای بوردن یا دیافراگم از استرین گیج استفاده و در خروجی معمولاً از ترانزیستور به صورت PNP و یا NPN استفاده می‌گردد. در نمونه‌های پیشرفته‌تر خروجی ۴ تا ۲۰ میلی‌آمپر و نشان دهنده نیز وجود دارند.



شکل ۱۳-۵۱: نمونه یک سوئیچ فشار دانفوس

دماسنج

نقطه مرجع دماسنجی

مهمترین درجه حرارت‌هایی که به آسانی تعیین می‌شوند، عبارتند از: درجه حرارتی که در فشار اتمسفر آب در آن می‌جوشد و همچنین درجه حرارتی که آب در آن یخ می‌بندد. نقطه جوش و نقطه انجماد آب نقاط مرجع نامیده می‌شود.

انتخاب نقطه ذوب یخ، به عنوان نقطه مرجع، کاملاً مناسب نیست. زیرا این نقطه تابع فشاراست و معمولاً نمی‌توان آن را بصورت قابل اعتماد تکرار کرد. در نتیجه امروزه، به عنوان نقطه مرجع، نقطه سه گانه آب را بکار می‌برند. این نقطه دمایی است که در آن سه حالت آب، بخار آب و یخ در تعادلند. اگر دما به تدریج بالا رود در لحظه‌ای که یخ شروع به آب شدن هر سه فاز به حال تعادل در می‌آیند این حالت با دمای ۰/۰۱ سانتی‌گراد متناظر است.

یکای دما

پر کاربردترین یکای دما در اندازه‌گیری دما تجهیزات دیگ‌خانه سلسیوس(سانتی‌گراد) و فارنهایت است.

فارنهایت:

فارنهایت (Fahrenheit) مقیاسی برای سنجش دما است که در ایالات متحده کاربرد دارد. در درجه‌بندی فارنهایت مایع دماسنجی جیوه اختیار می‌شود. نقطه پایینی دمای مخلوط یخ و نشادر و حد بالای آن دمای بدن انسان سالم اختیار می‌شود و آن را عدد ۹۸,۶ در نظر می‌گیرند و از صفر تا ۹۸,۶ را به ۹۸,۶ قسمت مساوی تقسیم می‌کنند و هر یک، یک درجه فارنهایت نامگذاری می‌شود.

سلسیوس(سانتی‌گراد)

درجه سلسیوس(Celsius) یا سانتی‌گراد که به صورت مخفف با علامت °Cنشان داده می‌شود یکای سنجش دما است. نام سلسیوس برای بزرگداشت ستاره‌شناس سوئدی آندرس سلسیوس(۱۷۰۱ تا ۱۷۴۴) که خود، یکایی همانند را برای دما پیشنهاد کرد چنین نامگذاری شدهٔ است. عبارت درجه سلسیوس می‌تواند اشاره‌کننده به یک دمای مشخص باشد و یا به بازه‌ای از دما، تفاوت میان دو دما یا یک عدم قطعیت اشاره کند. نام این یکا تا سال ۱۹۴۸ سانتی‌گراد (centigrade) باقی مانده بود. این نام از واژه لاتین centum به معنی «۱۰۰» و gradus به معنی «گام» یا «مرحله» گرفته شده‌است.

از سده ۱۹ میلادی به این سو، در همه جامعه‌های علمی در سراسر جهان از این پیمانه سنجش دما با نام سانتی‌گراد یاد می‌شد. البته در بیشتر موارد تنها به نام درجه بسنده می‌شد ولی اگر می‌خواستند که دقیق‌تر گفته شود به آن درجه سانتی‌گراد می‌گفتند. نماد این پیمانه °C است.

از آنجاییکه سانتی‌گراد در زبان‌هایی مانند فرانسوی و اسپانیایی نام یک یکای اندازه‌گیری زاویه بود و در دیگر زبان‌ها هم مفهوم‌های همانندی را یادآوری می‌کرد، برای همین در استانداردهای بین المللی مانند BIPM از عبارت centesimal degree برای کاربرد دقیق نام آن استفاده می‌شد. در نهایت در نهمین کنفرانس بین المللی وزن‌ها و مقیاس‌ها و در انجمن بین المللی وزن‌ها و مقیاس‌ها در سال ۱۹۴۸ به طور رسمی نام درجه سلسیوس با نماد °C پذیرفته شد.

تبدیل واحد سانتی‌گراد به فارنهایت طبق رابطه۱۳-۵ است.

$$[^{\circ}C] = ([^{\circ}F] - 32) \times 5/9 \qquad (۵-۱۳)$$

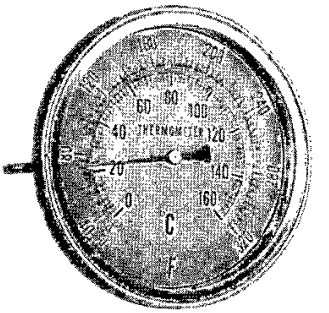
$$[^{\circ}F] = [^{\circ}C] \times 9/5 + 32$$

انواع دماسنج

دماسنج‌ها انواع گوناگونی دارند امّا بدون شک پر کاربردترین نوع دماسنج‌ها در دیگ‌خانه دماسنج عقربه‌ای است.

دماسنج عقربه‌ای بی‌متال

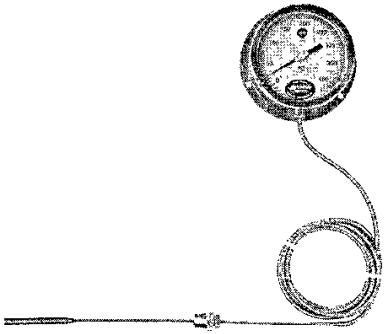
اساس کار این دماسنج بر کاهش یا افزایش طول یک فلز در اثر تغییرات دما استوار است. در این دماسنج دو فلز با ضرایب انبساط طولی متفاوت به هم متصل شده تا به شکل یک کویل در آیند. یک انتهای کویل ثابت و سر دیگر آن آزاد است. با تغییر دما، انتهای آزاد کویل که به عقربه متصل است چرخیده و مقدار دما بر روی عقربه نشان داده می‌شود.



شکل ۱۳-۵۲: ترمومتر عقربه‌ای ۲رنج(فارنهایت - سانتی‌گراد)

دماسنج عقربه‌ای پرشده با گاز

اساس کار این دماسنج‌ها بر کاهش یا افزایش فشار یک گاز در حجم ثابت در اثر تغییرات دما استوار است. با تغییر دمای حباب حساس دماسنج (Bulb)، فشار گاز داخل آن تغییر می‌کند. این تغییر فشار توسط یک فشار سنج عقربه‌ای که براساس دما کالیبره شده است نمایش داده می‌شود.



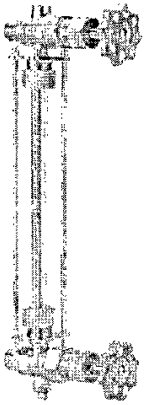
شکل ۱۳-۵۳: ترموتر عقربه‌ای پرشده با گاز

تجهیزات کنترل سطح

شیر آبنما[1]

دانستن سطح آب داخل مخازن و خود بویلر برای اپراتور دیگ‌خانه امری ضروری است. وظیفه شیر آبنما نیز در واقع همین بوده و به کمک آن می‌توان با تقریب مناسب سطح آب داخل مخزن و بویلر را مشاهده نمود.

بر روی دیگ‌های بخار دودستگاه شیر آبنما قرار دارد که از قسمت تحتانی به بخش آب بویلر از بخش فوقانی به بخش بخار بویلر متصل هستند.



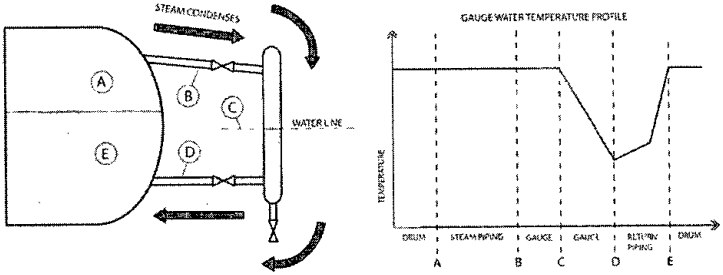
شکل۱۳-۵۴: آبنمای شیشه‌ای

1- Level Gage

آبنمای شیشه‌ای

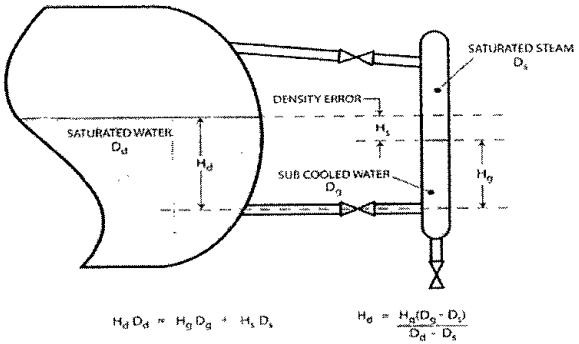
قدیمی‌ترین و پرکاربردترین نوع آبنما در کشورمان آبنمای شیشه‌ای است. از این نوع آبنما برای نمایش سطح سیالات در طیف وسیعی از مخازن تحت فشار و تانک‌ها نیز استفاده می‌شود.

نکته قابل تامل در مورد شیرهای آبنما در آنست که آب وارد شده به محفظه آبنما در گردش نمی‌باشد و تقریباً به صورت ثابت باقی می‌ماند. این آب در تبادل حرارتی با محیط دیگ‌خانه با کاهش دما روبرو می‌شود. از آنجاییکه چگالی آب با دمای آب نسبت عکس دارد و بالا رفتن دما چگالی آب کاهش می‌یابد چگالی آب سرد شده در داخل آبنما از چگالی آب اشباع داخل بویلر بیشتر خواهد شد. همین اختلاف چگالی باعث خواهد شد قدری سطح آب داخل آبنما پایین‌تر از سطح واقعی آب داخل بویلر باشد.



شکل۱۳-۵۵: رنج تغییرات دما در آبنمای شیشه‌ای

حال هرچه فشار بویلر بالاتر باشد و در نتیجه دمای آب نیز بالاتر باشد این اختلاف بیشتر خواهد شد. برای محاسبه این اختلاف ارتفاع می‌توان از رابطه شکل۱۳-۵۶ استفاده کرد:



شکل۱۳-۵۶: محاسبه اختلاف ارتفاع آبنمای شیشه‌ای

که در آن:

Hd: ارتفاع واقعی آب بویلر

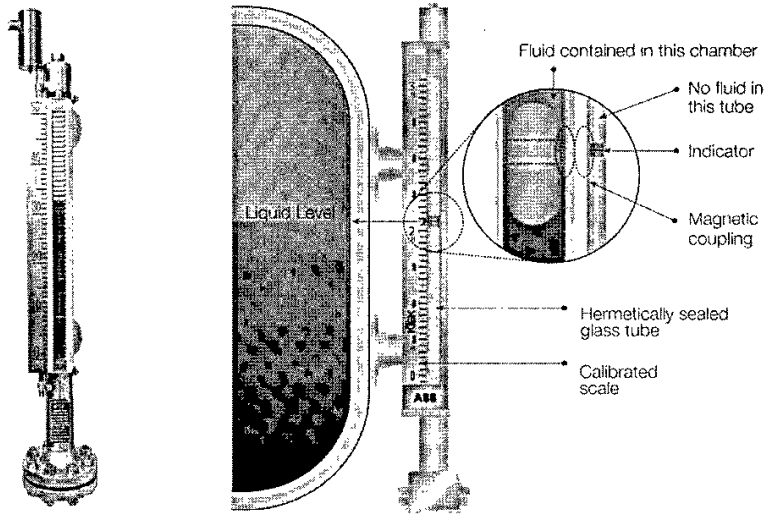
Hg: ارتفاع آب در آبنما

Hs: ارتفاع خطا

Dd: دانسیته آب بویلر(دمای اشباع در فشار بویلر)
Dg: دانسیته آب آبنما
Ds: دانسیته بخار

آبنمای مغناطیسی[1]

نوع اتصال آبنمای مغناطیسی مشابه نوع شیشه‌ای است و از قسمت تحتانی و فوقانی به بویلر متصل است اما عملکرد آن براساس نیروی فشار آب بویلر و خاصیت الکترو مغناطیس جذب و دفع قطب‌های غیر همنام و همنام است.



شکل۱۳-۵۷: آبنمای مغناطیسی

آبنما دارای یک محفظه تحت فشار است که داخل آن یک گوی با خاصیت آهنربایی قرار گرفته است. زمانی که آب بویلر یا مخزن وارد محفظه می‌شود گوی را به سمت بالا هدایت می‌کند. خاصیت مغناطیسی گوی باعث تغییر رنگ فلپ‌های نصب شده در بیرون محفظه می‌گردد و بدین ترتیب سطح آب بویلر یا مخزن برای اپراتور دیگ‌خانه قابل شناسایی است.

در بویلرهایی که دی‌اریتور صحیح عمل نمی‌کند و تصفیه داخلی مناسبی نیز روی آب ورودی به بویلر انجام نمی‌گیرد گوی داخل مخزن تحت فشار، توسط اکسیژن به سرعت سوراخ می‌شود و ورود آب به داخل گوی آنرا از حالت شناور خارج کرده و عملاً سیستم را از کار می‌اندازد.

مزایا

آبنمای مغناطیسی نسبت به آبنمای شیشه‌ای دارای مزایای است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- نسبت به نوع شیشه‌ای دارای آببندی مناسب‌تری می‌باشد و به کمک آلیاژهای مختلف در

1- Magnetic Level Gage

ساخت آن می‌توان در فشارهای بالا به سادگی از آن استفاده نمود.

۲- در آب‌های سخت بعد از گذشت مدت زمان کوتاهی آبنمای شیشه‌ای به سادگی قابل رویت نیست اما در نوع مغناطیسی به‌دلیل استفاده از فلپ‌ها (پره‌های رنگی) تشخیص سطح آب مخزن یا بویلر از فاصله دور برای اپراتور دیگ‌خانه قابل تشخیص است.

۳- بدنه مقاوم‌تری داشته و امکان شکستگی مشابه آبنمای شیشه‌ای در آن وجود ندارد.

۴- قابلیت نسب سویئچ بر روی آن وجود دارد و بدین ترتیب هم به عنوان نشانگر و هم به عنوان کنترل‌کننده سطح(لِوِل‌کنترل) عمل می‌کند.

اندازه‌گیری سطح

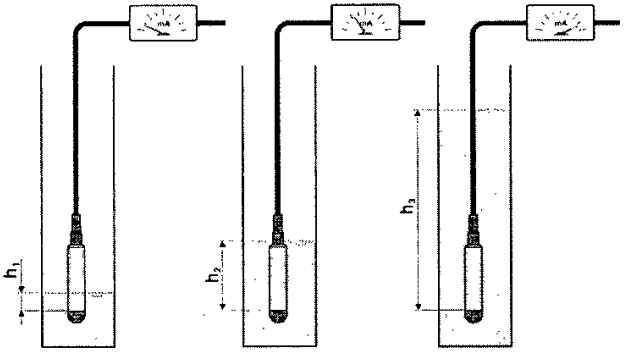
لول‌سویئچ یا لِوِل‌کنترل یا کنترل‌کننده سطح و یا سطح سنج عناوینی است که برای کنترل کننده‌های سطح به‌کار برده می‌شود. اما ما برای جلوگیری از تشویش ذهن خوانندگان در ادامه مبحث صرفاً از لغت لِوِل‌کنترل استفاده می‌کنیم.

لِوِل‌کنترل‌ها بر روی خود بویلر، دی‌اریتور، تانک کندانس و تانک‌های سوخت و... نصب می‌شوند و به کمک آنها می‌توان نسبت به سطح آب و یا سوخت در داخل مخزن و یا بویلر فرمان‌های مورد نیاز را به مدارهای الکتریکی ارسال و تجهیزات مختلف از جمله شیرهای کنترل و پمپ‌ها را کنترل نمود.

عملکرد کنترل کننده‌های سطح می‌تواند براساس تکنولوژی بکار رفته در آن متفاوت باشد.

۱. سنسورهای فشار

اساس کار آنها براساس فشار ناشی از فشار سیال بر روی آنها است. برای مثال چنانچه در پایین‌ترین نقطه مخزنی با ارتفاع ۵ متر یک فشار سنج نصب کنیم فشاری معادل ۵ متر ستون آب را نشان خواهد داد.



$p_1 < p_2 < p_3$

شکل۱۳-۵۸: شماتیک عملکرد سنسورهای فشاری

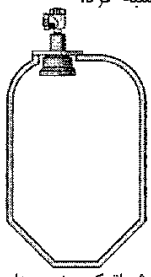
این نوع سنسورها در چاه‌های عمیق بسیار پر کاربرد است. از آنجاییکه سنجش عمق آب در چاه عمیق امکان‌پذیر نیست و عملکرد پمپ شناور در داخل چاه نیز وابسته به آن است پی بردن به سطح آب داخل چاه امری است حیاتی. بدین منظور یک سنسور به پمپ شناور متصل می‌کنند و همراه با پمپ به داخل چاه می‌فرستند. سنسور با توجه به فشار ستون آب بر روی خود فرمان ۴-۲۰میلی آمپر صادر

می‌کند که توسط سیمی مخصوص و یک تکه به بالای چاه عمیق و تابلو کنترل فرمان ارسال می‌شود.

۲. سنسورهای الکتریکی

سنسورهای الکتریکی در فرآیند اندازی‌گیری سطح سیالات انواع گوناگونی داشته که از آن جمله می‌توان به استفاده از امواج آلتراسونیک اشاره نمود.

اساس عملکرد کنترل سطح با امواج آلتراسونیک استفاده از زمان بازگشت صوت است. این سنسورها شامل یک فرستنده و یک گیرنده جدا گانه می‌باشد. مبدل آن به صورت زمان بندی‌های متناوب روشن و خاموش شده و به پالس بازتاب شده گوش می‌دهد. اگر در بالای یک مخزن نصب شود، سنسور عمق فضای بخار مایع را اندازه می‌گیرد. اگر اطلاعات لازم از شکل و سطح مقطع مخزن در دسترس باشد می‌توان حجم سیال داخل مخزن را نیز محاسبه کرد.

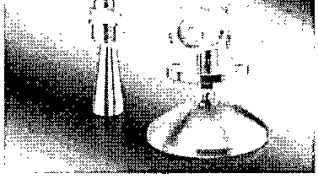


شکل۱۳-۵۹: شماتیک سنسورهای آلتراسونیک

۳. سنسورهای نوری

سنسورهای نوری در فرآیند اندازی‌گیری سطح سیالات انواع گوناگونی داشته که از آن جمله می‌توان به استفاده ازفتوالکتریک و استفاده از رادار و ماکروویو اشاره نمود.

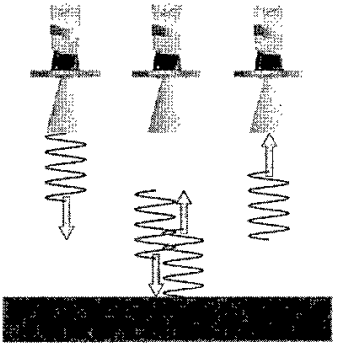
امواج رادار و ماکروویو هردو با سرعت نور حرکت می‌کنند ولی با استفاده از فرکانس کاری و توان خود قابل تمایز هستند. فرکانس امواج FM رادیو بین ۸۸-۱۰۸ مگاهرتز بوده ولی برای ماکروویو بین ۱-۳۰۰ گیگا هرتز است.



شکل۱۳-۶۰: کنترل سطح راداری ساخت وگا

سنسور رادار شامل یک فرستنده، آنتن، گیرنده و یک پردازنده و یک واسط اپراتوری بوده که فرستنده در بالای سر مخزن قرار می‌گیرد. دستگاه یک موج مغناطیسی را به سمت پایین(به سمت سیال) می‌فرستد. این سیگنال به کمک یک آنتن بشقابی و یا مدل شاخکی به سمت سیال تابیده می‌شود.

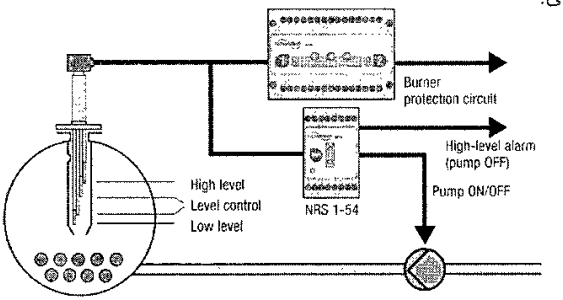
قسمتی از این موج به سمت آنتن بازتاب داده می‌شود که پس از جمع آوری به سمت گیرنده هدایت خواهد شد. در اینجا یک پردازنده وجود دارد که زمان رفت و برگشت را محاسبه می‌کند.



شکل۱۳-۶۱: شماتیک عملکرد رادار

رادار تماسی

در نوع تماسی امواج رادار به سمت سیال شلیک می‌شود. به علت تغییر ناگهانی در ثابت دی الکتریک حد فاصل دو ماده (آب و بخار آب) یک موج برگشتی در سیم ایجاد شده و به سمت منبع بر می‌گردد. زمان رفت و برگشت موج ارسالی و بازگشتی متناسب با سطح سیال مخزن خواهد بود. این تکنولوژی قابلیت اعتماد و دقت بسیار بالایی در اندازه‌گیری محدوده وسیعی از سیالات با اثر ناپذیری از دما، فشار، بخار، چگالی، سیال آشفته، سیال در حال جوشیدن، میزان PH، محیط متغییر در ثابت دی الکتریک و ویسکوزیته را دارا می‌باشد.



شکل۱۳-۶۲: شماتیک لِوِل‌کنترل راداری روی بویلر بخار

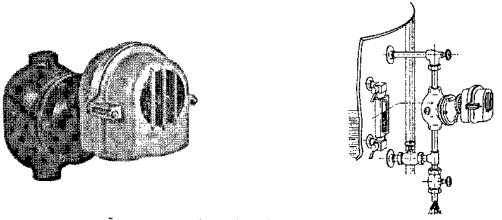
با توجه به این خصوصیات این نوع لِوِل‌کنترل برای نصب روی بویلر بهترین انتخاب است که متاسفانه هنوز در کشور ما نهادینه نشده است.

۴. مکانیکی

کنترل سطح‌های مکانیکی در کشورمان بیشترین کاربرد را دارند. از جمله تجهیزاتی که به صورت مکانیکی وظیفه کنترل سطح را انجام می‌دهند می‌توان به لِوِل‌کنترل‌های جیوه‌ای و لِوِل‌کنترل‌های عمودی (طرح موبری) اشاره کرد.

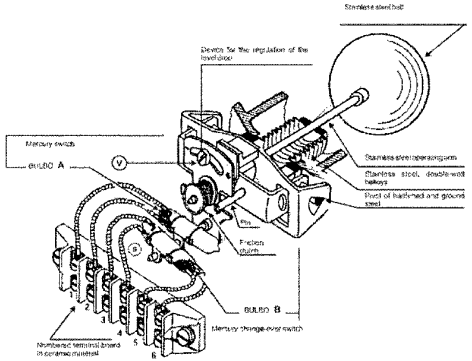
لِوِل‌کنترل جیوه‌ای

محفظه لِوِل‌کنترل از بخش تحتانی و فوقانی به بویلر و یا مخزن مورد نظر متصل می‌شود.



شکل۱۳-۶۳: لِوِل‌کنترل جیوه‌ای و طریقه نصب آن

تغییر سطح مایع در داخل محفظه دستگاه گوی شناور داخل دستگاه را به بالا و پایین هدایت می‌کند که این حرکت توسط یک اهرم ارتباطی و چرخش محورها به وسیله بازوی نگهدارنده به یک حباب لامپی شکل منتقل می‌شود که در داخل آن مقداری جیوه وجود دارد. در نتیجه تغییر سطح آب و در نتیجه تغییر وضعیت گوی این حباب تغییر وضعیت داده و جیوه در درون حباب شروع به حرکت می‌کند و در نتیجه تغییر لازم بین کنتاکت‌های سوئیچ تعبیه شده در داخل حباب را به‌وجود می‌آورد و فرمان‌های لازم را صادر می‌کند.



شکل۱۳-۶۴: اجزاء لِوِل‌کنترل جیوه‌ای

لِوِل‌کنترل مغناطیسی عمودی (طرح موبری)

عملکرد این نوع لِوِل‌کنترل مشابه آبنمای مغناطیسی است و در آن یک گوی شناور به کمک جریان

سیال به بالا و پایین در داخل محفظه هدایت می‌شود. این گوی به یک میله متصل است که در انتهای میله در داخل محفظه بالایی لول یک آهنربای دائمی به میله بسته شده است. حرکت گوی به بالا و پایین، آهن‌ربا را در داخل محفظه حرکت داده و باعث عبور آن، از مقابل ایربک سوئیچ می‌شود.

شکل۱۳-۶۵: لِول‌کنترل طرح موبری

این نوع سوئیچ از دو تیغه کوچک فرومغناطیسی (آهن و سرب)تشکیل شده است. این تیغه‌ها با هم همپوشانی داشته و در عین حال از هم فاصله بسیار کمی دارند. این تیغه‌ها زمانی که در مقابل یک میدان مغناطیسی قرار بگیرد به عنوان هادی شار مغناطیسی عمل می‌کند. در این حالت قطب‌های مخالف مغناطیسی روی تیغه‌ها به‌وجود می‌آید و این تیغه‌ها به هم می‌چسبند و یک اتصال القایی بین آنها شکل میگیرد و یا به اصطلاح کنتاکت‌ها به هم می‌چسبد و فرمان الکتریکی را برای تابلو کنترل فرمان صادر می‌کند.

لِول‌کنترل طرح موبری در دو نوع تولید می‌شود:

۱- لِول‌کنترل‌های محفظه‌دار برای نصب در خارج مخزن

۲- لِول‌کنترل‌های مستقیم برای نصب در داخل مخزن

که در نوع محفظه‌دار باید آنرا در کنار بویلر نصب نمود اما در نوع مستقیم به وسیله یک لوله محافظ مستقیماً در داخل بویلر قرار می‌گیرد.

لِول‌کنترل بویلر همواره به صورت دوبل بر روی بویلر قرار می‌گیرد که یکی از لول‌ها مجهز به یک ایربک سوئیچ(پوسته کوتاه) و دیگری مجهز به ۲ ایربک سوئیچ است(پوسته بلند).

پوسته بلندتر وظیفه اصلی را به عهده داشته و بنابر سطح آب داخل بویلر فرمان استارت و استاپ را به پمپ تغذیه بویلر می‌دهد. لول تک پانل تنها زمانی وارد مدار می‌شود که سطح آب از حداقل سطح مجاز داخل بویلر پایین‌تر بیاید. در این زمان لِول‌کنترل فرمان استارت پمپ رزرو و یا خاموش شدن مشعل را صادر می‌کند.

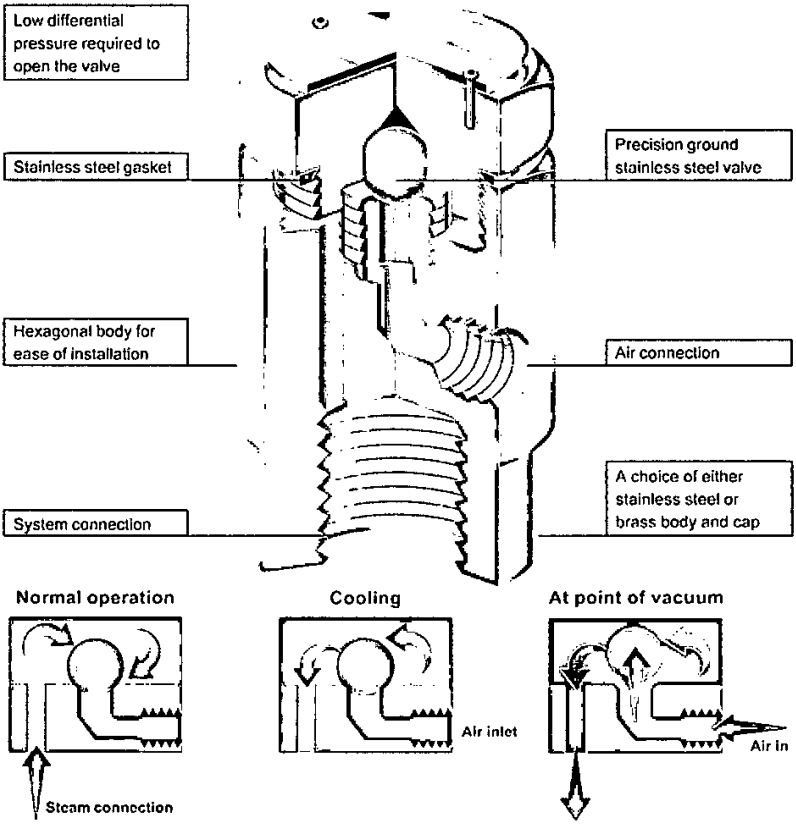
خلاء شکن[1] (Vacum Breaker)

زمانی که بخار به کندانس تبدیل می‌شود حجم آن بشدّت کاهش می‌یابد. حال چنانچه بخار جدیدی وارد نشود فشار افت کرده و اصطلاحاً خلاء ایجاد می‌شود.

وظیفه خلاءشکن در واقع از بین بردن همین خلاء است. خلاءشکن‌ها عملکرد بسیار ساده‌ای دارند. هر زمان که فشار محفظه از فشار اتمسفر کمتر شود ساچمه داخل شیر به کمک فشار اتمسفر بالا رفته

1- Vacum Breaker

وهوا وارد می‌شود. بعد از ورود مجدد بخار و بالا رفتن فشار، فشار داخل محفظه از فشار اتمسفر بیشتر شده و ساچمه روی نشیمنگاه می‌نشیند و اجازه خروج بخار را نمی‌دهد.



شکل ۱۳-۶۶: طریقه عملکرد خلاء شکن

ایجاد خلاء در سیستم بخار اصولاً در زمانی که سیستم خاموش است رخ می‌دهد. در این زمان بخار وروی به داخل سیستم قطع می‌شود و پس از تبدیل بخار داخلی به کندانس خلاء شکل می‌گیرد. این اتفاق می‌تواند به تجهیزات آسیب بزند و حتی تانک را مچاله نماید.

اما در زمان فعالیت سیستم نیز ممکن است در داخل مبدل‌ها خلاء ایجاد شود. زیرا عملکرد شیرهای کنترل بر حسب دما است و چنانچه نیازی به ورود بخار نباشد شیر بسته می‌ماند. حال بخار محبوس داخل مبدل رفته رفته کندانس شده و ایجاد خلاء می‌کند. این اتفاق را استفاده از شیر کنترلOver Size تشدید می‌کند.

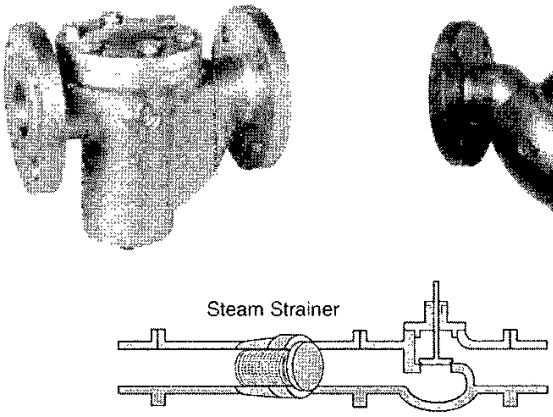
البته همان‌طور که پیش‌ترگفتیم وجود هوا در داخل سیستم می‌تواند مشکلاتی را ایجاد نماید که مهم‌ترین آن پایین آوردن ضریب انتقال حرارت است.شیرهای خلاءشکن را می‌توان از مهم‌ترین عوامل ورود هوا به داخل سیستم دانست.

صافی

برای جلوگیری از ورود ذرات خارجی از صافی استفاده می‌شود. در آغاز بـه کـار سیـستم بخـار وجـود پلیسه‌های باقیمانده از جوشکاری، خرده‌های فلزی و یا حتی پیچ و مهره تجهیزات را تهدیـد مـی‌کنـد. در سیستم‌های قدیمی نیز رسوب‌های تشکیل شده ممکن است با سیال حرکت کرده و به تجهیـزات آسـیب بزند. بنابراین نصب صافی برای تمامی تجهیزات از جمله فشارشکن، تله‌بخار، شـیر کنتـرل، پمـپ‌هـا و... الزامی است.

پرکاربردترین نوع صافی‌ها Y-Type و U-Type است.(شکل۱۳-۶۷)صافی Y برای استفاده در خطـوط بخار بهترین گزینه است و می‌تواند تخلیه دار و یا بدون تخلیه باشد. نصب ایـن صـافی در خطـوط بخـار برای جلوگیری از جمع شدن کندانس در داخل آن به صورت افقی انجام می‌گیرد.

نکته مهم در نصب صافی‌ها آن است که حتماً می‌بایست در کنار آنها فضای خالی برای بـاز کـردن و تمیز کردن و بستن مجدد صافی وجود داشته باشد.



شکل ۱۳-۶۷: انواع صافی ساخت *SAMYANG* وطریقه نصب در خط بخار

تله‌بخار[1]

بخار پس از انتقال گرمای‌نهان تبخیر خود در تجهیزات به کندانس تبدیل می‌شود. حال ممکـن اسـت زمانی فرا برسد که بخشی از بخار زنده قبل از تبدیل به کندانس از تجهیز مورد نظر خـارج شـود. وظیفـه تله‌بخار جلوگیری از خروج بخار زنده است. بنابراین تله‌بخار آخرین نقطه حضور بخار زنده است.

همچنین از تله‌ها برای تخلیه گازهای غیر قابل کندانس نیز استفاده می‌شود.

انواع تله‌بخار

تله‌های بخار را به سه دسته کلی می‌توان تقسیم نمود:

۱- تله‌بخار مکانیکی:

مبنای عملکرد آنها براساس اختلاف چگالی آب و بخار است.

1- Steam Trap

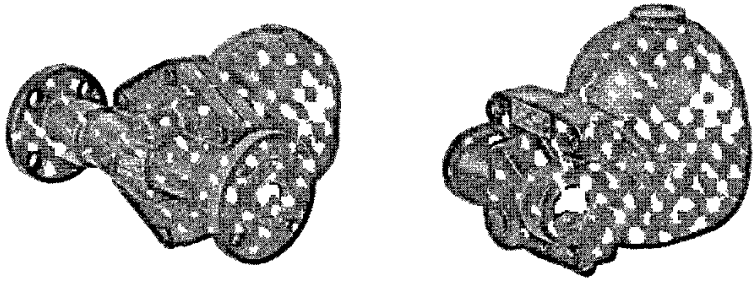
۲- تله‌بخار ترمودینامیکی:
مبنای کار آنها براساس سرعت بالای بخار و همچنین چگالی بیشتر آب به بخار است.
۳- تله‌بخار ترموستاتیکی:
مبنای کار آنها براساس اختلاف دمای بخار و کندانس است.

تله‌بخار مکانیکی

بخار فارغ از فشار آن همواره چگالی بسیار کمتری از آب دارد. این خصوصیت می‌تواند کمک مناسبی جهت تخلیه کندانس باشد. تله‌بخارهای نوع فلوتری(کوزه‌ای) و همچنین تله‌بخارهای سطلی معکوس از این دسته تله‌ها هستند که براساس اختلاف چگالی آب و بخار عمل می‌کنند.

تله‌بخار فلوتری[1]

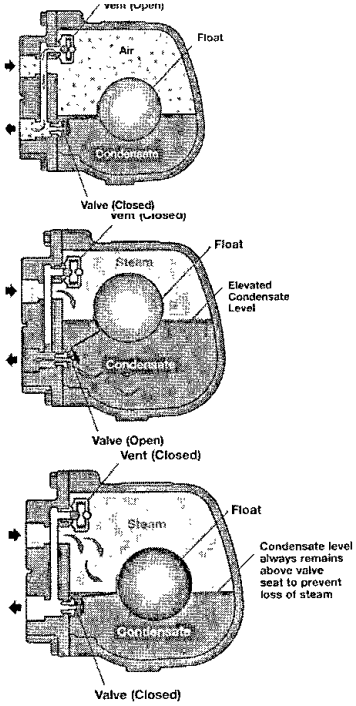
بدون شک پر کاربردترین نوع تله در سیستم‌های بخار صنعتی در کشورمان همین نوع تله است که البته در مواقعی بهترین گزینه نیست اما به دلیل دسترسی ساده‌تر و عملکرد مطمئن آن انتخاب می‌شود.



شکل ۱۳-۶۸: تله‌بخار فلوتری با ایرونت اتوماتیک ساخت *SAMYANG*

عملکرد این تله دارای پیچیدگی خاصی نبوده و وارد شدن آب ناشی از کندانس به داخل تله باعث بالا رفتن گوی در داخل تله شده و همین امر سبب باز شدن مسیر خروجی می‌شود. در اغلب تله‌های فلوتری گوی به اهرمی متصل است که با بالا رفتن گوی اهرم نیز بالا رفته و باعث گشایش مسیر خروجی می‌شود. در بعضی دیگر از انواع آن گوی به صورت آزاد شناور است و بالا و پایین رفتن خود گوی است که باعث گشایش و یا انسداد مسیر خروجی می‌شود. البته نوع اول در کشورمان بسیار پر کاربرد بوده تله‌بخار نوع دوم کم مصرف است.
شکل۱۳-۶۹ مراحل عملکرد تله‌بخار فلوتری مجهز به ایرونت اتوماتیک را نمایش می‌دهد.

1- Float Trap



شکل ۱۳-۶۹: مراحل عملکرد تله‌بخار فلوتری

۱- شروع به کار سیستم
در تله‌بخار فلوتری همواره مقداری آب باقی می‌ماند. زمانی که سیستم استارت می‌کند هوا وارد تله می‌شود که از طریق ایرونت اتوماتیک داخل تله تخلیه می‌گردد.

۲- ورود کندانس
با ورود کندانس به تله سطح آب در تله افزایش پیدا کرده و موجب بالا رفتن اهرم متصل به گوی می‌شود. بدین ترتیب مسیر خروجی گشوده شده و کندانس خارج می‌شود.

۳- ورود بخار
با ورود بخار و پایین رفتن سطح آب مسیر خروجی مسدود شده و این عمل تا زمانی که بخار به کندانس تبدیل شود و گوی را بالا ببرد ادامه پیدا می‌کند.

در مدل‌های قدیمی این تله برای خروج هوا شیر دستی نصب می‌گردید اما در مدل‌های جدید ایرونت اتوماتیک در داخل تله نصب شده است و به کمک آن کلیه گازهای غیر قابل کندانس از سیستم تخلیه می‌گردد. البته در مواردی که احتیاج به هواگیری زیاد در استارت اولیه است می‌توان به کمک نصب خط بای‌پس در کنار تله در استارت اولیه سیستم به کمک شیر بای‌پس سیستم را هواگیری نمود.[1]

شیر بای‌پس مدار تله‌بخار می‌بایست از نوع مرغوب باشد زیرا در زمان بسته بوده بای‌پس در صورت نشتی عملکرد تله دچار اختلال می‌شود.

تله‌بخار فلوتری دارای مزایا و معایب فراوانی است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

مزایا:

۱- تخلیه پیوسته: تخلیه کندانس در این تله به صورت مستمر و در دمای بخار صورت می‌گیرد بنابراین در مواردی که تخلیه حجم زیادی از کندانس مورد نیاز باشد گزینه مناسبی خواهد بود.

[1] فیلم آموزشی شماره۱۳-۱۳ را ببینید

۲- عملکرد مناسب در فشارکم: این نوع تله در فشارهای پایین نیز عملکرد مناسبی داشته و در تخلیه حجم زیاد کندانس نیز دچار اختلال نمی‌شود. بنابراین برای تجهیزاتی با مصرف متغیر بخار مناسب است.

۳- ایرونت اتوماتیک: تله‌های مجهز به ایرونت اتوماتیک می‌تواند گازهای غیر قابل کندانس رابه خوبی تخلیه نماید. به دلیل عملکرد ترموستاتیکی ایرونت‌ها به آنها تله‌بخار شناوری حرارتی نیز اطلاق می‌شود.

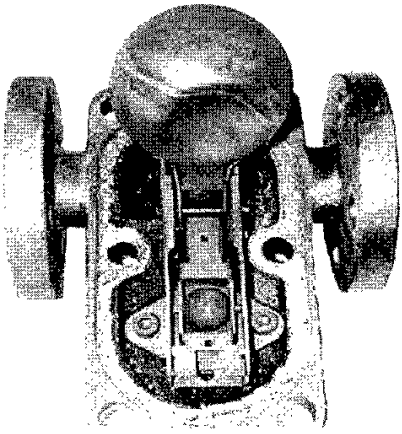
۴- فشار برگشت: تله‌های فلوتری در مقابل فشار برگشت بعد از تله‌بخار مقاوم هستند.

۵- در سایزهای برابر نسبت به سایر تله‌ها حجم تخلیه کندانس بالاتری دارند.

۶- در سایزهای مختلف با انواع اتصال جوشی، دنده‌ای و فلنچ‌دار قابل تهیه‌اند.

معایب:

چنانچه تله در فضای باز نصب شده باشد در فصل سرد آب باقیمانده در تله سبب می‌شود در زمانی که سیستم خاموش است تله در مقابل یخ زدگی آسیب‌پذیر باشد. بهترین راه حل عایق نمودن تله است تا از یخ‌زدگی در آن جلوگیری شود. همچنین به دلیل آنکه کوزه این نوع تله بزرگ است تبادل حرارتی زیادی با محیط اطرف دارد از این رو عایق کاری تله به خصوص در سایزهای بزرگتر از "۱ حتی در فضای داخل موتورخانه نیز توصیه می‌شود. عیب عمده دیگر این نوع تله مقاومت ضعیف آن در مقابل ضربه‌قوچ است.

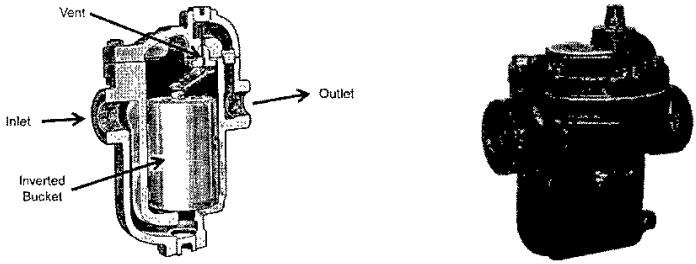


شکل ۱۳-۷۰: تاثیر ضربه‌قوچ بر روی یک تله‌بخار فلوتری

تله‌بخار سطلی معکوس[1]

مشابه تله‌بخار فلوتری براساس اختلاف چگالی آب و بخار عمل کرده با این تفاوت که به جای گوی یک سطل به صورت بر عکس (واژگون) در داخل آن تعبیه شده است. در بالای این سطل سوراخ کوچکی قرار ارد که به کمک آن گازهای غیر قابل کندانس تخلیه می‌شود.

1- Inverted Bucket Trap



شکل ۱۳-۷۱: واقعی و برش خورده تله‌بخار سطلی معکوس ساخت *SAMYANG*

این سطل با ورود بخار به داخل تله بالا رفته و اهرمی را که به آن متصل است به بالا می‌راند. در نتیجه این فرآیند مسیر خروجی مسدود می‌شود. اما با گذشت زمان و تبدیل بخار به کندانس و غوطه‌ور شدن سطل در داخل آب اهرم متصل به سطل پایین افتاده و باعث گشایش مسیر خروجی می‌شود. با باز شدن مسیر آب ناشی از کندانس و سایر گازهای غیر قابل کندانس از تله خارج می‌شود. با خارج شدن آب سطل از حالت غوطه وری خارج شده و مجدداً مسیر خروجی مسدود می‌شود. که این امر به معنی عملکرد متناوب تله است و خروج کندانس از تله مکرر قطع و وصل خواهد شد.

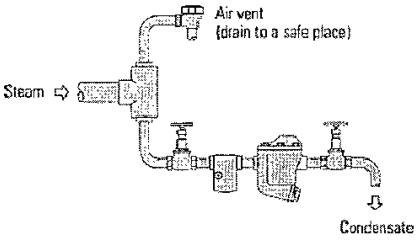
تله‌بخار سطلی معکوس توسط سازندگان مختلف با اتصال دنده‌ای و یا فلنچ دار و در سایزهای مختلف و با قابلیت نصب روی خطی(ورود و خروج روی یک خط) ساخته می‌شود. اما در همه انواع آن ورود بخار از پایین و خروج کندانس از بالای تله است.[1]

مزایا:

۱- عملکرد ساده تله سبب می‌شود عمر مفید آن بالا باشد و هزینه تعمیر و نگهداری ناچیزی داشته باشد.
۲- نسبت به تله‌های فلوتری قابلیت بکارگیری در فشارهای بالاتری را دارد.
۳- در مقابل ضربه‌قوچ می‌تواند مقاومت خوبی از خود نشان دهد.
۴- خروجی از بالا سبب می‌شود امکان گرفتگی به علت حضور ذرات معلق به شدت کاهش یابد.
۵- در مقابل یخ زدگی نسبت به تله‌های فلوتری مقاوم‌تر است.

معایب

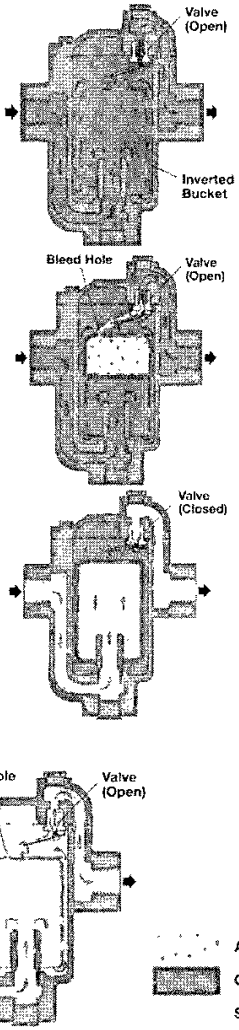
۱- قابلیت هواگیری این نوع تله ضعیف است. برای رفع این معضل اجرای خط بای‌پس برای هواگیری اولیه و یا نصب یک تله‌بخار ترموستاتیکی موازی با آن توصیه می‌شود.



شکل ۱۳-۷۲: شماتیک نصب تله‌بخار سطلی معکوس با ایرونت موازی

[1] فیلم آموزشی شماره۱۳-۱۴ را ببینید

۲- خروجی از بالا سبب می‌شود چنانچه سیستم تغییر ناگهانی فشار داشته باشد جریان معکوس شده و کندانس برگشت پیدا کند. برای رفع این معضل نصب شیر یک‌طرفه بعد از تله توصیه می‌شود.



۱- خروج کندانس

وجود آب ناشی از کندانس باعث مستغرق شدن سطل واژگون در داخل تله شده و اهرم را به پایین کشیده و مسیر خروجی گشوده می‌شود.

۲- خروج هوا

در صورت وجود گازهای غیر قابل کندانس این گازها از سوراخ موجود در بالای سطل خارج می‌شود. این سوراخ برای جلوگیر از خروج بخار نمی‌تواند بزرگ باشد.در نتیجه قابلیت هواگیری این تله ضعیف است.

۳- بسته شدن مسیر

وارد شدن بخار به داخل سطل واژگون سبب بالا رفتن سطل و اهرم متصل به آن شده و همین امر سبب انسداد مسیر خروجی خواهد شد.

۴- اختلال در تله

همانطور که در مراحل قبل مشخص است در قسمت فوقانی تله همواره مقداری آب وجود دارد. حال چنانچه سیستم دچار افت فشار ناگهانی شود این آب به بخار فلش تبدیل می‌شود و در نتیجه فضای داخل تله را کلاً بخار فرا می‌گیرد. در نتیجه سطل پایین افتاده و مسیر خروجی باز می‌شود. همین امر سبب خروج بخار زنده خواهد شد. این امر تا ورود آب به داخل تراپ ادامه خواهد یافت.

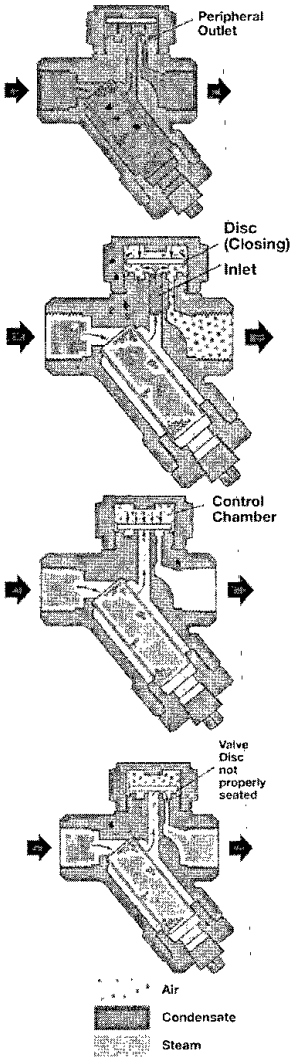
شکل ۱۳-۷۳: مراحل عملکرد تله‌بخار سطلی معکوس

تله‌بخار ترمودینامیک[1]

عملکرد تله‌بخارهای ترمودینامیکی بسیار ساده است. در قسمت فوقانی تله دیسکی مدور وجود دارد

1- Thermodynamic Steam Trap

که براساس مکش حاصل از سرعت بخار عمل می‌کند. به دلیل وجود همین دیسک به این نوع تله، تله‌بخار دیسکی نیز اطلاق می‌شود.



۱-ورود کندانس

ورود کندانس به داخل تله دیسک را به طرف بالا هل داده و مسیر خروجی گشوده می‌شود و کندانس تخلیه می‌گردد.

۲- ورود بخار

زمانی که بخار وارد می‌شود در اثر کاهش فشار در قسمت Control Chamber بخار فلش ایجاد می‌شود که دیسک را به سمت پایین هل داده و مسیر خروجی را مسدود می‌کند.

۳- تبدیل بخار به کندانس

با کندانس شدن بخار آب در زیر دیسک با وزن خود و فشار بخار پشت سر، دیسک را به سمت بالا هل داده و فشار فوقانی نیز به دلیل تبادل حرارتی کم می‌شود. در نتیجه دیسک به طرف بالا حرکت کرده و مجدداً مسیر خروجی گشوده می‌شود.

۴- اختلال در تله

چنانچه به دلیل رسوب و یا هر نوع آشغال در نشیمنگاه دیسک، دیسک نتواند مسیر را مسدود نماید بخشی از بخار زنده از تله فرار می‌کند و تله نمی‌تواند وظیفه خود را به درستی انجام دهد.[۱]

شکل ۱۳-۷۴: مراحل عملکرد تله‌بخار ترمودینامیک

[۱] فیلم آموزشی شماره۱۳-۱۵ را ببینید

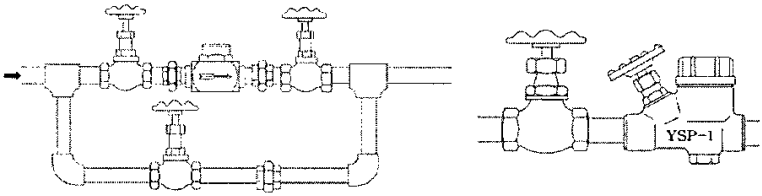
مزایا:

۱- ابعاد: این نوع تله ابعاد کوچکی دارد و معمولاً تا سایز "۱ تولید می‌شود.
۲- رنج وسیع: این نوع تله می‌تواند در رنج وسیعی از فشار و دمای بخار به درستی عمل کند.
۳- ضربه‌قوچ: تله‌های ترمودینامیکی نسبت به ضربه‌قوچ می‌توانند مقاومت خوبی از خودشان نشان دهند.
۴- یخ زدگی:آبی در آنها باقی نمی‌ماند و در نتیجه در مقابل یخ زدگی مقاوم هستند
۵- هزینه نگهداری: هزینه تعمیر و نگهداری آنها ناچیز است
۶- صدا: بالا و پایین افتادن دیسک صدا ایجاد می‌کند و در نتیجه عملکرد تله با سر و صدا همراه است. این مسئله به اپراتور کمک می‌کند تا ازعملکر صحیح تله اطمینان حاصل کند. البته باید به این نکته توجه کرد که چنانچه تله‌بخار را بزرگتر از سایز مورد نیاز انتخاب کنیم تعداد دفعات بالا و پایین رفتن دیسک بیشتر شده و سر و صدای آن نیز بیشتر می‌شود. در نتیجه همیشه سر و صدای زیاد تله نشانه خوبی نیست.

معایب:

۱ـ صدا: عملکرد پر سروصدای این نوع تله همیشه یک حسن نیست و چنانچه در محلی نصب شده است که نباید سر و صدا وجود داشته باشد مثل بیمارستان استفاده از این تله را دچار اشکال می‌کند.

۲ـ در زمان استارت اولیه چنانچه ریتم افزایش فشار بخار کند باشد تخلیه هوا از تله به درستی صورت خواهد گرفت اما چنانچه این ریتم سریع باشد سرعت زیاد هوا باعث بسته شدن دیسک و حبس هوا می‌شود. بهترین راه برای رفع این معضل نصب مدار بای‌پس در کنار تله است. البته بعضی از سازندگان، دیسک تراپ همراه با بای‌پس را تولید کرده‌اند. در این نوع از تراپ‌ها با باز کردن شیر بای‌پس نصب شده روی شیر مسیرعبور کندانس از تله عبور نمی‌کند و در زمان استارت اولیه می‌توان با باز کردن شیر مسیر را تغییر داد و هواگیری را به صورت کامل انجام داد و دیگر نیازی به مسیر بای‌پس مجزا نیست.



شکل ۱۳-۷۵: تراپ همراه با بای‌پس ساخت *SAMYANG*

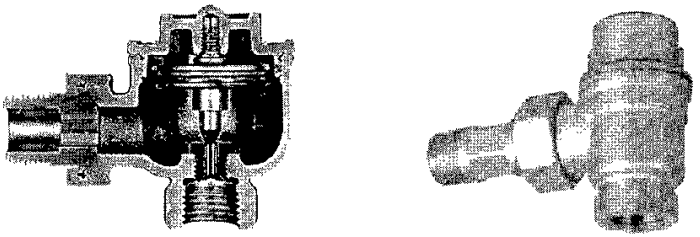
تله‌بخار ترموستاتیک[1]

تله‌های ترموستاتیکی بر مبنای اختلاف دمای بخار و کندانس عمل می‌کنند. این تله‌ها انواع گوناگونی دارند که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

1- Thermostatic Steam Trap

تله‌بخار رادیاتوری[1] (فانوسه‌ای)

در داخل این تله یک کپسول تعبیه شده است. داخل کپسول از مایعی با دمای جوش کمتر از آب پر شده است.



شکل ۱۳-۷۶: تله‌بخار رادیاتوری ساخت SAMYANG

با ورود بخار به تله مایع داخل کپسول منبسط می‌شود. کپسول حاوی مایع از قسمت بالا به قسمت فوقانی تله ثابت شده است و در نتیجه آکاردئون کپسول تنها قابلیت حرکت به سمت پایین را دارد. این حرکت مسیر خروجی را مسدود می‌کند. بعد از تبدیل بخار به کندانس و با منقبض شدن کپسول مسیر خروجی گشوده می‌شود و کندانس تخلیه می‌گردد. با ورود مجدد بخار این چرخه ادامه پیدا می‌کند.[2]

شکل ۱۳-۷۷: عملکرد تله‌بخار ترموستاتیک

مزایا:

۱- در زمان راه‌اندازی تله سرد است و در نتیجه مسیر کاملاً باز است. بدین ترتیب هواگیری سیستم به طور کامل صورت می‌گیرد.
۲- آب در این تله‌ها باقی نمی‌ماند و در نتیجه در مقابل یخ زدگی مقاوم است.
۳- هزینه تعمیر و نگهداری پایینی دارد.
۴- ابعاد کوچکی دارد و ظرفیت تخلیه کندانس آن مناسب است.

معایب:

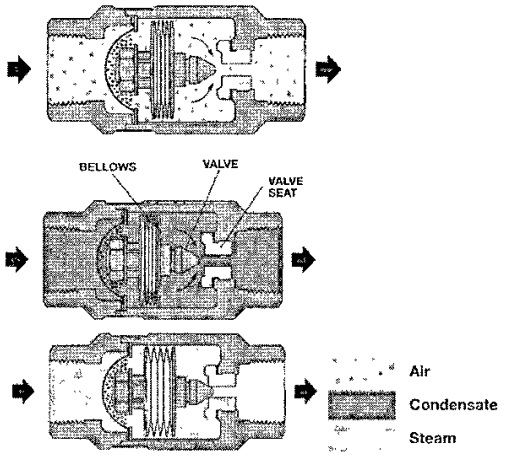
در مقابل ضربه چکش و خوردگی مقاومت مناسبی ندارد.

1- Radiator Steam Trap

[2] فیلم آموزشی شماره۱۳-۱۶ را ببینید

تله‌بخار ویفری

عملکردی شبیه تله‌بخار رادیاتوری دارد و مایع داخل کپسول آن معمولاً الکل است.



۱- ورود هوا
در استارت اولیه تله سرد بوده و مسیر خروجی کاملاً باز است و هوای وارد شده به تله به طور کامل تخلیه می‌شود.

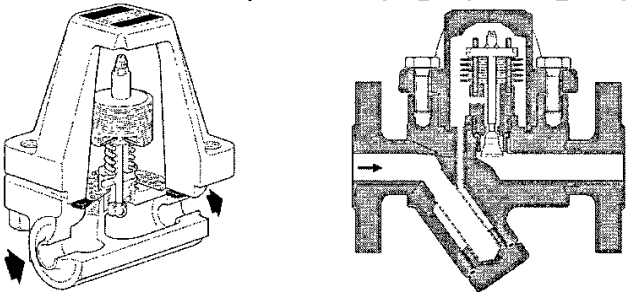
۲-ورود کندانس
با ورود کندانس به علت دمای پایین‌تر کندانس نسبت به بخار مسیر باز می‌ماند و کندانس تخلیه می‌شود.

۳-ورود بخار
با ورود بخار به تله و در نتیجه افزایش دما کپسول منبسط شده و مسیر خروجی را مسدود می‌کند.

شکل ۱۳-۷۸: مراحل عملکرد تله‌بخار ویفری

تله‌بخار بی متالیک[1]

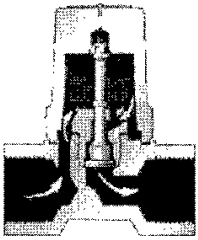
تله‌بخارهای بی متالیک براساس ضریب انبساط متفاوت دو فلز عمل می‌کنند.



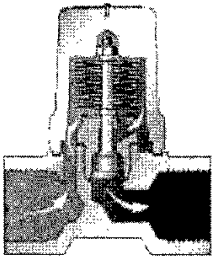
شکل ۱۳-۷۹: برش خورده دو نمونه تله‌بخار ترموستاتیک

این دو فلز به هم متصل شده و در قسمت فوقانی تله قرار داده شده است. ورود بخار و در نتیجه افزایش دما سبب انبساط هر دو فلز خواهد شد. اما از آنجاییکه انبساط دو فلز همسان نیست تغییر شکل پیدا کرده و انحنا پیدا می‌کند و سبب انسداد مسیر خروجی می‌شود.

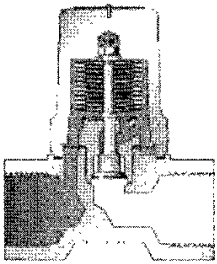
1- Bimetallic Steam Trap



۱- ورود هوا
در استارت اولیه تله سرد بوده و مسیر خروجی کاملاً باز است و هوای وارد شده به تله به طور کامل تخلیه می‌شود.



۲-ورود کندانس
با ورود کندانس به علت دمای پایین‌تر کندانس نسبت به بخار مسیر باز می‌ماند و کندانس تخلیه می‌شود.



۳-ورود بخار
با ورود بخار به تله و در نتیجه افزایش دما باعث ایجاد انحناء در بی متال شده و مسیر خروجی را مسدود می‌کند.[1]

شکل ۱۳-۸۰: مراحل عملکرد تله‌بخار بی متالیک

مزایا:

۱- در زمان راه‌اندازی تله سرد است و در نتیجه مسیر کاملاً باز است. بدین ترتیب هواگیری سیستم به طور کامل صورت می‌گیرد.
۲- آب در این تله‌ها باقی نمی‌ماند و در نتیجه در مقابل یخ زدگی مقاوم است.
۳- هزینه تعمیر و نگهداری پایینی دارد.
۴- از تولید بخار فلش می‌کاهد.

معایب:

۱ـ عملکرد آن با کمی تاخیر همراه است و در مواردی که نیاز به سرعت عمل باشد انتخاب مناسبی نیست.
۲ـ چنانچه در معرض حرارت خط بخار قرار گیرد عملکرد آن دچار اختلال می‌شود.
۳ـ برای عملکرد صحیح احتیاج به نصب خط صاف(جهت خنک کردن) طولانی بعد از تجهیز و قبل

[1] فیلم آموزشی شماره۱۳-۱۷ را ببینید

از تله دارد.

۴ـ به دلیل سرعت پایین عملکرد ممکن است بین صفحات فلزی آشغال گیر کند.

انتخاب تله‌بخار

برای انتخاب تله‌بخار مناسب برای هر تجهیز ابتدا باید نوع تله‌بخار مناسب برای آن تجهیز را برگزید. جدول راهنمای مناسبی برای نحوه عملکرد و انتخاب انواع تله‌بخار در کاربردهای متفاوت است.

بعد از انتخاب نوع تله براساس میزان کندانس تجهیز مصرف‌کننده بخار وضریب اطمینان مناسب و حداکثر فشار مجاز تله‌بخار و اختلاف فشار طرفین تله‌بخار(Δp)سایز مناسب تله را نیز بر می‌گزینیم.

انتخاب نوع تله‌بخار بسیار حائز اهمیت است. چنانچه با محاسبه دقیق کندانس و ضریب اطمینان مناسب سایز درستی از تله را محاسبه کنیم اما نوع تله مناسب آن کاربرد نباشد باز هم این احتمال وجود دارد که کندانس به درستی تخلیه نشود و در عملکرد تجهیز خلل ایجاد شود.

ضریب اطمینان

انتخاب سایز تله براساس میزان کندانس تجهیز مصرف‌کننده بخار انتخاب می‌شود. اما برای انتخاب سایز مناسب بنابر نوع تله و مصرف‌کننده بخار ضریبی به عنوان اطمینان در میزان کندانس خروجی اعمال می‌شود. بدین ترتیب چنانچه به دلایلی نظیرکاهش فشار بخار(مثلاً به‌دلیل بسته شدن شیر کنترل) توان تخلیه کندانس کاهش یافت تله باید بتواند همچنان وظیفه خود را به طور کامل انجام دهد تا کندانس پشت آن جمع نشود و مشکلاتی نظیر کاهش ظرفیت حرارتی، ضربه‌قوچ، استال و... را به‌وجود نیاورد.

این ضریب اصولاً بر طبق فرمول محاسباتی دقیقی محاسبه نمی‌شود و بیشتر تجربی است. بر همین اساس همواره در بعضی موارد بین مهندسان صنعت بخار اختلاف نظر وجود دارد.

محاسبه این ضریب اطمینان به حداقل ۲ عامل مهم بستگی دارد. اول نوع تله‌بخار انتخابی و دوم حداکثر کندانس براساس نوع مصرف تله‌های مختلف براساس نوع عملکرد. تله‌ها دارای حداقل ضریب اطمینانی هستند که می‌توان آن را مطابق جدول محاسبه نمود.

جدول ۱۳-۱۳: ضریبا اطمینان تله‌بخار

Steam main	3
Heat exchanger	2
Tracing line	2
Heating facility	3

الف) نوع تله‌بخار: همان‌طور که از جدول مشخص است هرچه تله عملکرد مداوم‌تری دارد مانند تله‌بخار فلوتری این ضریب کمتر بوده و برای تله‌هایی مانند دیسکی و سطلی معکوس به ضریب بزرگ‌تری نیاز است.

ب) حداکثر کندانس: حداکثر کندانس سیستم معمولاً در زمان استارات سیستم رخ می‌دهد و می‌توان آن را به عنوان مهمترین عامل در انتخاب ضریب اطمینان برشمرد. همچنین نوع تجهیز مصرف‌کننده بخار با توجه به حضور یا عدم حضور شیر کنترل در ورودی از عوامل اصلی انتخاب ضریب اطمینان تله‌بخار است.

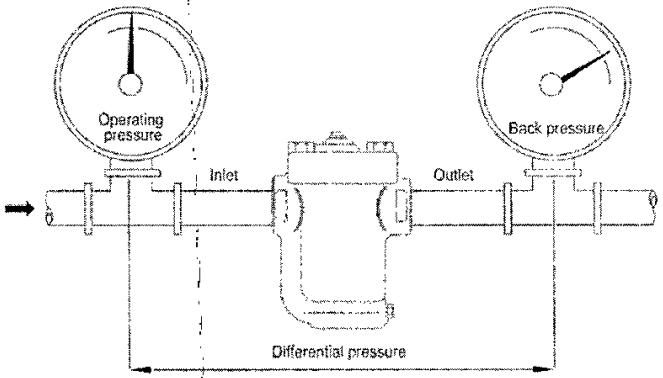
جدول به عنوان یک جدول ساده می‌تواند راهنمای سرانگشتی خوبی برای انتخاب ضریب اطمینان باشد.

حد اکثر فشار عملکرد تله

سازندگان تله‌بخار حداکثر فشار قابل تحمل تله تولیدی خود را مشخص می‌کنند. در انتخاب تله‌بخار همواره می‌بایست به این نکته مهم دقت نمود که تله‌بخار انتخابی توان تحمل فشار سیستم را داشته باشد.

اختلاف فشار:

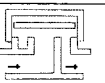
انتخاب سایز تله براساس میزان تخلیه کندانس براساس اختلاف فشار دو طرف تله انتخاب می‌شود. این اختلاف فشار (Δp)از تفاضل فشار قبل و بعد از تله محاسبه می‌شود.



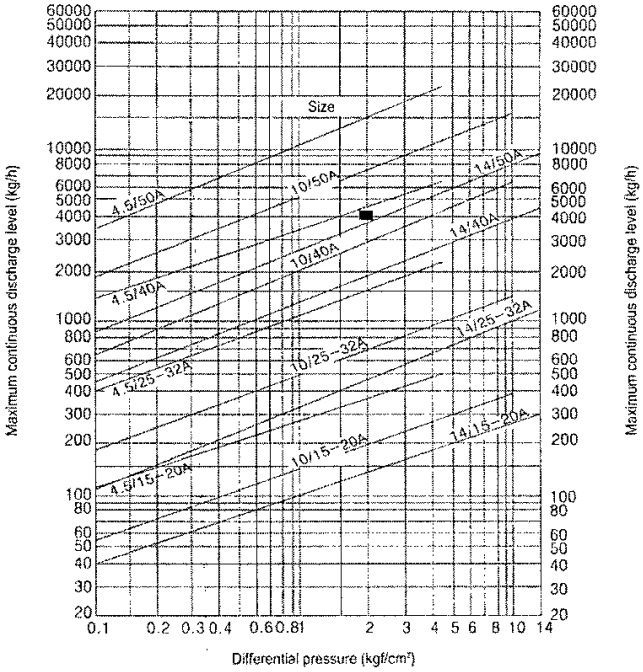
شکل ۱۳-۸۱: اختلاف فشار دو سر تله

نکته بسیار مهم در محاسبه(Δp)در آن است که فشار ورودی به تجهیز مصرف‌کننده بخار همواره فشاری نیست که به پشت تله‌بخار می‌رسد و قطعاً مقداری افت فشار خواهد داشت. از طرف دیگر در تجهیزاتی که شیر کنترل وجود دارد با کم شدن ریتم ورودی بخار به سیستم و یا قطع آن تبدیل بخار به کندانس موجب افت فشار سیستم می‌شود. این امر تا آنجا می‌تواند ادامی پیدا کند که فشار برگشت از فشار سیستم بیشتر شود.(شکل۱۳-۸۱)

سازندگان تله‌بخار انواع تله را برایΔpهای مختلف تولید می‌کنند و برای آنها نمودارهایی را ارائه می‌دهند که در این نمودارها حداکثر توان تخلیه کندانس تله در اختلاف فشارهای مختلف نمایش داده می‌شود. نمودار ۱۳-۱ توان تخلیه کندانس برای تله‌بخار فلوتری با اُپرونت اتوماتیک ساخت سامیانگ را برایΔp =14 ،10 ،4/5 bar از سایز "½ تا "2 نشان می‌دهد.

عملکرد	مکانیکی		ترمودینامیکی	ترموستاتیکی	
نوع تله‌بخار	فلوتری	سطلی معکوس	دیسکی 	رادیاتوری،ویفری	بی‌متالیک
مزایا	• تخلیه پیوسته • ایونت اتوماتیک • مقاوی در فشار برگشت • تخلیهٔ مناسب کندانس	• عمر مفید بالا • هزینه نگهداری ناچیز • نسبتاً مقاوم در ضربهٔ قوچ • امکان گرفتگی پایین	• ابعاد کوچک • مقاوم در ضربهٔ قوچ • تحمل فشار بالا • مقاوم در مقابل یخ‌زدگی	• مناسب در فشار بالا • هزینهٔ اولیه پایین • ابعاد کوچک • مقاوم در مقابل یخ‌زدگی	• هواگیری اولیهٔ مناسب • کاهش بخار فلش • هزینهٔ نگهداری پایین • مقاوم در مقابل یخ‌زدگی
سایز (پرکاربرد)	½"-4" ½"-2"	½"-2" ½"-1"	½"-1" ½"-1"	½"-1" ½"-1"	½"-4" ½"-2"
بهترین گزینه برای	• مبدل حرارتی • دریپ لگ • زیر کلکتور • ژاکت • ایونیت هیتر • کوئل هوای گرم	• یونیت هیتر • سپریتور • دریپ‌لگ • کوئل هوای گرم	• پرس‌های گرم • هر کجا احتمال یخ زدگی وجود دارد • دریپ‌لگ در سوپرهیت • خطوط بخار با فشار بالا	• رادیاتور بخار • هواگیری از خطوط بخار • موازی سطلی معکوس برای هواگیری	• خطوط بخار با فشار بالا • هر کجا که نیاز به تخلیه کندانس با دمای پایین باشد(مانند تریسینگ)
ضریب اطمینان معمول	۲	۳-۲/۵	۲-۱/۵	۳-۲	بیش از ۳

نمودار ۱۳-۱: نمودار تخلیه کندانس تله‌بخار فلوتری ساخت ***SAMYANG***



تمرین:

مطلوبست انتخاب سایز مناسب تله‌بخار فلوتری برای مبدلی با اختلاف فشار ۲*kgf/cm2* و با ضریب اطمینان ۲ چنانچه نیاز به تخلیه حداکثر $^{kg}/_{hr}$ ۲۰۰۰ کندانس باشد.

حل:

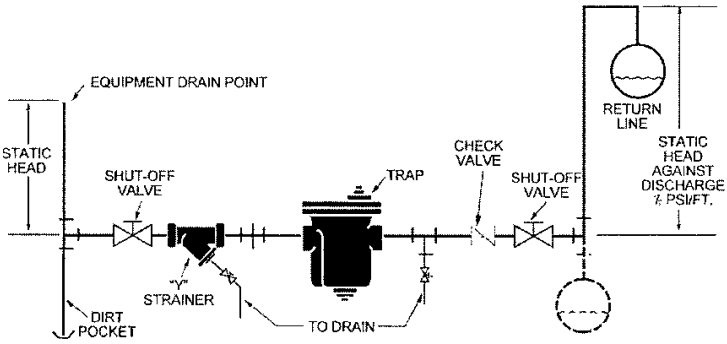
با توجه به ضریب اطمینان در نظر گرفته شده می‌بایست تله با تخلیه $^{kg}/_{hr}$ ۴۰۰۰ و با اختلاف فشار ۲*kgf/cm2* محاسبه کنیم.

از محور افقی پایین نمودار از نقطه ۲*kgf/cm2* خطی عمودی به سمت بالا رسم می‌کنیم تا خط افقی معادل $^{kg}/_{hr}$ ۴۰۰۰ را قطع نماید.این نقطه مابین (تله‌بخار "۲با ۱۴:Δp) و (تله‌بخار"۱۱/۲ با ۴/۵:Δp) قرار می‌گیرد. بنابراین تله‌بخار مناسب برای این مبدل یک تله‌بخار فلوتری با سایز"۱۱/۲ و با ۴/۵:Δp است.

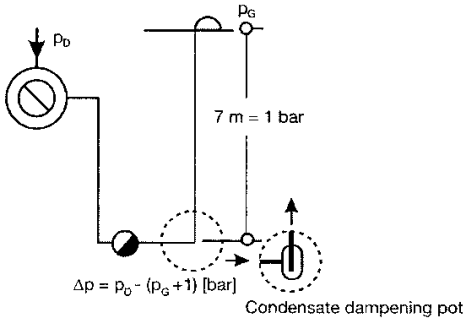
فشار برگشت

فشار برگشت یا فشار منفی یا پس‌فشار تعابیری است که در بین مهندسان کشورمان به Back Pressure اطلاق می‌شود. در سیستم‌های کندانس ونت به اتمسفر چنانچه تله بالاتر از خط برگشت کندانس باشد تخلیه به کمک نیروی ثقل انجام می‌شود و بعد از تله فشار سیستم صفر خواهد بود. اما چنانچه تله پایین‌تر از خط

برگشت کندانس باشد انتقال کندانس به خط مستلزم اجرای لوله عمودی خواهد بود. وجود این خط عمودی بعد از تله موجب ایجاد یک فشار برگشت بر روی تله است که فشاری بیشتر از ستون آب است.



شکل ۱۳-۸۲الف: ایجاد *Back Pressure* روی تله‌بخار با اجرای لوله عمودی



شکل ۱۳-۸۲ب: *dampening pot* روی تله‌بخار با لوله عمودی از بروز ضربه‌قوچ جلوگیری می‌کند

این فشار برگشت معادل ۱bar به ازاء هر ۷m و یا ۲psi به ازاء هر ۳فوت ستون آب است. در سیستم‌های کندانس تحت فشار، فشار سیستم تحت فشار(p_G) را نیز باید لحاظ نمود. همچنین اتصال خطوط عمودی کندانس با زانوی ۹۰ درجه ممکن است به بروز ضربه‌قوچ بی‌انجامد برای رفع این مشکل باید از اتصال dampening pot استفاده نمود.

مصرف کننده‌های بخار

تجهیزات مصرف‌کننده بخار انواع گوناگونی دارند که اکثر این تجهیزات از گرمای‌نهان تبخیر استفاده می‌کنند. بدین ترتیب میزان انرژی مورد نیاز آنها با توجه به فشار و کیفیت بخار مصرفی تعیین‌کننده میزان کندانس خروجی است.

البته بعضی از مصرف‌کننده بخار نیز هستند که با تزریق مستقیم بخار عمل کرده و هیچ کندانس برگشتی ندارند. برای انتخاب تله‌بخار مناسب باید ابتدا با عملکرد این تجهیزات آشنا شویم و سپس با کمک فرمول‌ها و جداول محاسباتی بار کندانس آنها را محاسبه نماییم.

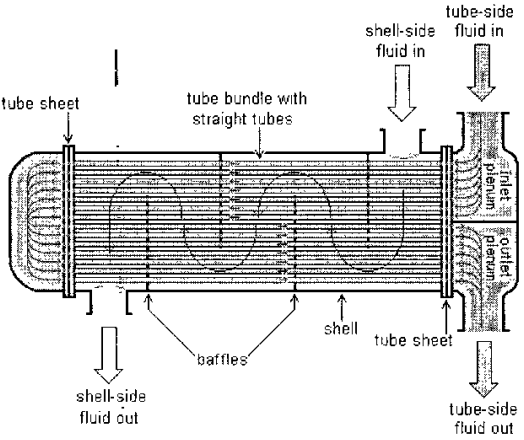
مبدل حرارتی

مبدل‌های حرارتی همانطور که از نام آنها پیداست تجهیزاتی هستند که وظیفه انتقال گرما از بخار به سیال ثانویه را فراهم می‌آورند.

مبدل پوسته و لوله[1]

در این مبدل‌ها کوئل در داخل سیال مستغرق بوده و از طریق همرفت انرژی بخار را به سیال ثانویه انتقال می‌دهد. البته از مبدل‌های پوسته لوله به عنوان تبخیرکننده و یا تغلیظ‌کننده نیز بهره گرفته می‌شود.

طراحی مبدل‌های حرارتی براساس ماکزیمم مصرف صورت می‌گیرد تا بدین ترتیب مبدل بتواند در پیک مصرف نیز به شکل صحیح وظیفه خود را انجام دهد. بنابراین در اکثر مواقع مبدل از حداکثر ظرفیت خود بهره نبرده و بخشی از این ظرفیت خالی می‌ماند.



شکل ۱۳-۸۳: شماتیک مبدل پوسته و لوله

وظیفه کنترل دمای سیال ثانویه در مبدل بر عهده شیر کنترل بخار ورودی به مبدل است. این شیر کنترل با توجه به دمای از پیش تنظیم شده میزان بخار ورودی به مبدل را کم یا زیاد می‌کند. در شیرهای نئوماتیکی با عملکرد on-off کنترل بخار به صورت قطع و وصل صورت می‌گیرد.

نکته مهم در ارتباط با کنترل در مبدل‌ها فشار بخار ورودی است. همانطور که پیش‌تر گفتیم فشار و دمای بخار با هم نسبت مستقیم داشته و با افزایش فشار دمای آن نیز افزایش می‌یابد. حال با توجه به آنکه ظرفیت مبدل از رابطه ۱۳-۶ محاسبه می‌شود:

$$H=UA\Delta T \qquad (۱۳-۶)$$

که در آن:

A:سطح جانبی کوئل

U: ضریب انتقال حرارت کوئل

ΔT:اختلاف دمای لگاریتمی بخار و سیال ثانویه

1- Shell&Tube Heat Exchanger

H:ظرفیت مبدل

بنابراین با افزایش دمای بخار می‌توان سطح جانبی کوئل را کوچک‌تر نمود. اما توجه به چند نکته ضروری است. اولاً کوئل مناسب برای فشارهای بالای بخار گران‌تر است، ثانیاً هرچه دمای بخار بالاتر باشد کنترل درجه حرارت سیال ثانویه مشکل‌تر خواهد بود(به خصوص اگر سیال ثانویه آب باشد). در این شرایط با ورود بخار انرژی مورد نیاز سیال ثانویه در مدت زمان کوتاهی تامین شده و شیر کنترل به دفعات باز و بسته می‌شود. در نتیجه شیر کنترل خیلی زود راهی تعمیرگاه خواهد شد. (به خصوص اگر on-off باشد) ثالثاً از آنجاییکه بخار ورودی زیاد نیست سریعاً کندانس می‌شود و فشار داخل کوئل سریعاً کاهش می‌یابد. این تغییرات ناگهانی فشار می‌تواند باعث ایجاد خلاء در داخل مبدل شود و بدین ترتیب (Δp)تله منفی شده و باعث برگشت کندانس به داخل مبدل می‌شود. این پدیده که استال نام دارد از عوامل کاهش راندمان انتقال حرارت و بروز ضربه‌قوچ و خوردگی در مبدل‌ها است. از طرفی افت فشار ناگهانی حتی اگر منجر به منفی شدن (Δp) نشود می‌تواند در کار تله اختلال ایجاد کند به خصوص اگر تله‌بخار از نوع سطلی معکوس باشد. رابعاً چنانچه سیستم کندانس تحت فشار موجود نباشد، فشار بالای بخار یعنی میزان بخار فلش بالا در کندانس و در نتیجه اتلاف انرژی در اثر ونت بخار فلش به اتمسفر.

با استفاده از شیر فشارشکن و کاهش فشار بخار ورودی به مبدل طبق قانون بقای انرژی، انرژی بخار در فشار پایین‌تر با انرژی بخار در فشار بالاتر(قبل از فشارشکن) برابر است و به بخار بیشتری نیازی نیست. اما صرفاً برای آنکه زمان فرآیند ثابت بماند به سطح کوئل بزرگ‌تری نیاز است.

نکات اجرایی

خلاءشکن و ایرونت

برای جلوگیری از ایجاد خلاء در داخل مبدل می‌بایست با نصب یک خلاءشکن از امکان بروز خلاء در مبدل جلوگیری نمود. در صورت در دسترس نبودن خلاءشکن می‌توان از یک چک‌ولو به صورت برعکس بهره گرفت. البته در مبدل‌های بزرگ‌ترجیح آنست که از ورود هوا به داخل سیستم جلوگیری شود و در نتیجه استفاده از شیر خلاء شکن مجاز نمی‌باشد.

ایرونت

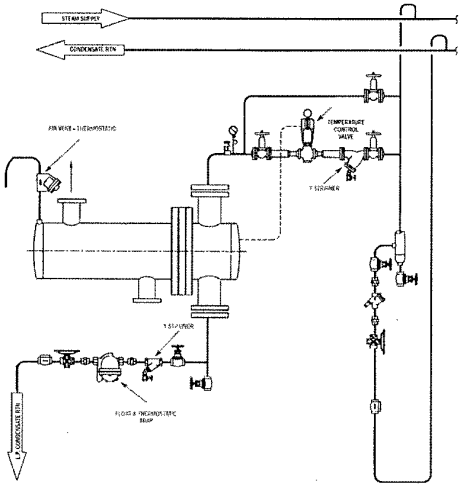
در مبدل‌های کوچک، بخار هوا را هل داده و به سادگی به سمت تله هدایت می‌کند. حال چنانچه مثلاً از یک تله‌بخار فلوتری با ایرونت اتوماتیک استفاده شده باشد دیگر نیازی به نصب ایرونت مجزا نیست. اما در مبدل‌های بزرگ و به خصوص در استارت اولیه نصب ایرونت بر روی مبدل برای خارج کردن هوا و در نتیجه هم دما کردن کل سطح مبدل توصیه می‌شود.

پمپ تله اتوماتیک

در مواردی که احتیاج به انتقال کندانس به ارتفاع بالا وجود دارد و یا به دلایل دیگر امکان ایجاد فشاربرگشت وجود دارد باید از سیستم پمپ تله اتوماتیک استفاده شود.

شیر کنترل

کنترل بخار ورودی یا از طریق شیر خود عملگر صورت می‌گیرد و یـا توسـط ترموسـتات مـستغرق و شیر نئوماتیکی کنترل می‌شود. سنسور ترموستات در هر دوحالت می‌بایـست در خروجـی سـیال ثانویـه از مبدل نصب گردد تا از بروز خطا در سیستم کنترل بخار جلوگیری به عمل آید.



شکل ۱۳-۸۴: شماتیک خط بخار و کندانس مبدل پوسته و لوله

میزان کندانس خروجی

برای محاسبه میزان کندانس خروجی از مبدل می‌توان از رابطه۱۳-۷ استفاده نمود:

$$Q = \frac{L \times \Delta T \times C \times Sg \times ۵۰۰}{H} \qquad (۷-۱۳)$$

که در آن:

M:بار کندانس(lb/hr)

L :دبی سیال گرم شونده(گالن در دقیقه)

C_p:گرمای‌ویژه سیال

Sg:وزن مخصوص سیال

ΔT:افزایش دما(فارنهایت)

H:گرمای‌نهان تبخیر(Btu/lb)

انتخاب تله

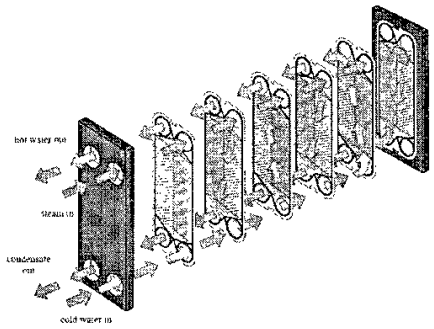
نوع تله‌بخار مناسب برای مبدل‌های حرارتی و ضریب اطمینان آنها بسته به نوع مبدل و فشار بخار آن است.

همانطور که گفتیم عملکرد تله‌بخار سطلی معکوس در برابر تغییرات ناگهانی فشار دستخوش اختلال می‌شود. بنابراین استفاده از این نوع تله در مبدل‌های با فشار ثابت بخار مناسب است. ضریب اطمینان تله‌بخار سطلی معکوس در مبدل با فشار ثابت ۲ است.

در شرایطی که فشار متغییر است تله‌بخار فلوتری با ایرونت اتوماتیک و با ضریب اطمینان ۳ گزینه مناسبی است.

از آنجاییکه اکثر قریب به اتفاق مبدل‌های پوسته و لوله مجهز به شیر کنترل هستند استفاده از تله‌بخار فلوتری با ایرونت اتوماتیک و با ضریب اطمینان۳ انتخاب اول در مبدل پوسته و لوله خواهد بود.

مبدل صفحه‌ای[1]



شکل ۱۳-۸۵: شکل انفجاری یک مبدل صفحه‌ای

مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای مبدل‌هایی با تماس غیر مستقسیم(مشابه پوسته و لوله) هستند. این مبدل‌ها از صفحات فلزی نازکی ساخته می‌شوند که از یک طرف هر صفحه بخار و از طرف دیگر آن سیال ثانویه عبور می‌کند.

مبدل‌های صفحه‌ای در شکل و ابعاد مختلفی ساخته می‌شوند و همین امر سبب گسترش روزافزون آنها در صنایع نفت، گازوپتروشیمی، نیروگاه‌ها، صنایع کوچک، استخرها، سیستم‌های تهویه و تبرید و.. می‌شود. مبدل‌های صفحه‌ای نسبت به مبدل‌های پوسته و لوله دارای مزایایی هستند که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- حالت معوج و شیاردار صفحات مبدل منجر به افزایش توربولانس جریان سیال شده و با توجه به ساختار مبدل باعث افزایش سطح موثر برای انتقال حرارت می‌گردد. بدین سان ضریب انتقال حرارت این مبدل‌ها بسیار بیشتر از مبدل‌های پوسته و لوله است. بالا بودن ضریب انتقال حرارت سبب می‌شود در سطح انتقال حرارت برابر بعضاً تا ۳۰٪ از وزن و حجم کوچکتری نسبت به مبدل پوسته و لوله برخوردار باشند.

۲- توان بازیافت حرارتی بالایی دارند(تا۹۰٪). بنابراین این مبدل‌ها برای بازیافت حرارت از منابع حرارتی درجه پایین مناسب هستند.

۳- با توجه به نوع حرکت سیال ثانویه احتمال قاطی شدن دو سیال بسیار کم است.

۴- مبدل‌های صفحه‌ای برای سیالات دارای لزجت بالا بسیار مناسب هستند.

۵- امکان باز و بسته کردن مبدل صفحه‌ای به راحتی امکان‌پذیر است. از اینرو بازرسی و نظافت آن

1- Plate Heat Exchanger

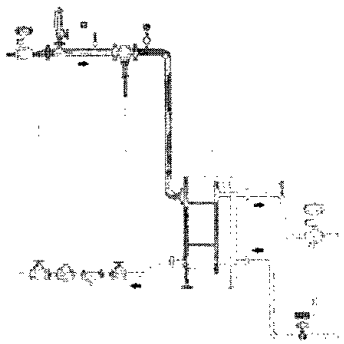
کار آسانی است.

۶- مبدل صفحه‌ای به تغییر شرایط فرایند سریعاً واکنش نشان می‌دهد و از این رو کنترل آن بسیار ساده‌تر از مبدل پوسته و لوله است.

این‌ها از جمله دلائلی هستند که سبب کاربرد روز افزون این مبدل‌ها می‌شود.[1]

نکات اجرایی و انتخاب تله

واشرهای آب‌بندی به‌کار رفته در مبدل‌های صفحه‌ای بخار که عموماً از جنس EPDM هستند معمولاً حداکثر دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد را تحمل می‌کنند و نقطه کاری آنها معمولاً بین ۱۰۰-۱۲۰ درجه سانتی‌گراد است. از اینرو برای جلوگیری از از خرابی این واشرها می‌بایست فشار بخار کنترل شده‌ای را وارد مبدل نمود تا تا دمای بخار از حد مجاز بالاتر نرود. بر این اساس نصب مدار فشارشکن و سوپاپ اطمینان قبل از مبدل صفحه‌ای بخار الزامی است.



شکل ۱۳-۸۶: شماتیک مدار بخار و کندانس مبدل صفحه‌ای

در مبدل‌های صفحه‌ای مشابه مبدل‌های پوسته و لوله می‌توان از تقسیم ظرفیت مبدل بر گرمای‌نهان تبخیر در فشار بخار ورودی میزان کندانس را محاسبه نمود. تله‌های بخار با عملکرد مکانیکی بدین منظور بهترین انتخاب هستند و با توجه به وجود شیر کنترل در بخار ورودی ضریب اطمینان ۳ را می‌بایست در نظر گرفت.

برای جلوگیری از ایجاد خلاء در در مبدل در صورت بسته ماندن شیر کنترل و یا خاموشی سیستم نصب خلاء شکن در مدار ورودی مبدل امری حیاتی است. در مبدل‌های کوچک جریان بخار هوا را به سمت تله‌بخار هدایت می‌کند و چنانچه از تله‌بخار با قابلیت هواگیری استفاده شده باشد نیازی به نصب ایرونت مجزا نیست. امّا در مبدل‌های بزرگ نصب ایرونت مجزا برای حفظ یکنواختی دمای کل مبدل ضروری است.

مخازن ژاکت دار[2] (مخازن پخت دوجداره)

همانطور که از نام آنها پیداست دوجداره بوده و جدار ثانویه حاوی بخار است. این جدار مانند ژاکت

---

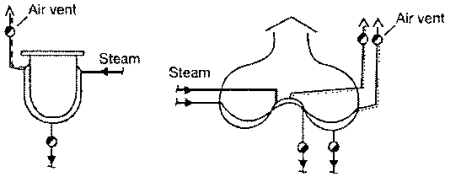
[1] فیلم آموزشی شماره۱۳-۱۸ را ببینید

2- Steam Jacket

گرداگرد دیگ پخت را فرا گرفته است و بدین ترتیب سیال ثانویه را گرم می‌کند.

ژاکت‌ها می‌توانند به صورت ثابت و یا متحرک عمل نمایند. از این ژاکت‌ها در آشپزخانه‌های صنعتی ، صنایع غذایی، کاغذ سازی و صنایع چوب و.. استفاده می‌شود.

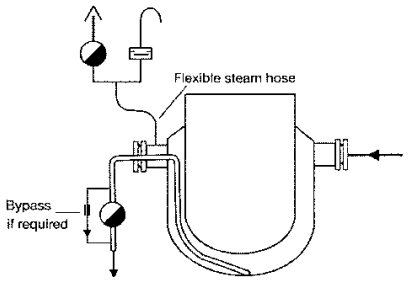
بخار موجود در ژاکت خارجی بر روی جداره‌های ظرف داخلی به کندانس تبدیل شده و در نتیجه انرژی خود را به سیال ثانویه منتقل می‌کند. با توجه به این شرایط وجود هوا در داخل ژاکت ضریب انتقال حرارت را به شدّت کاهش می‌دهد و تجمع هوا در یک نقطه همسانی دمای دیگ را بر هم می‌زند. بنابراین نصب ایرونت بر روی ژاکت‌ها امری اجتناب ناپذیر است. در ژاکت‌هایی که شکل نامتقارن دارند بنابر شکل دستگاه می‌بایست بیش از یک ایرونت نصب نمود.



شکل ۱۳-۸۷: شماتیک نصب تله و ایرونت در ژاکت بخار

آب ناشی از کندانس در این ژاکت‌ها می‌بایست فوراً از ژاکت خارج شود زیرا آب ضریب تبادل حرارتی پایینی داشته و در صورت باقی ماندن در ژاکت راندمان انتقال حرارت را به شدت کاهش می‌دهد.

با توجه به شرایط فوق تله‌بخار فلوتری با ایرونت اتوماتیک بهترین گزینه است. ضریب اطمینان برای ژاکت‌ها ۳ در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۱۳-۸۸: شماتیک نصب تله و ایرونت در ژاکت بخار متحرک

استفاده از تله بخا ترمودینامیکی زمانی که لوله خروجی از ژاکت نزدیک به زمین است نیز قابل قبول است. در این شرایط بهتر است از شیر هواگیری موازی با تله بهره گرفته شود.

در ظروف ژاکت دار کوچک می‌توان از تله‌های ترموستاتیکی استفاده نمود. اما این امر مستلزم نصب یک لوله خنک‌کننده با طول مناسب قبل از تله است.

میزان کندانس خروجی

برای محاسبه میزان کندانس خروجی می‌توان از رابطه۱۳-۸ استفاده نمود:

$$M = \frac{G \times Sg \times Cp \times \Delta T \times ۸/۳}{H \times t} \qquad (۸-۱۳)$$

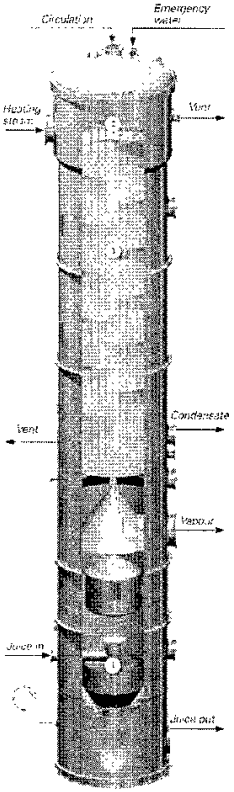
M:بار کندانس(lb/hr)

G:حجم سیال گرم شونده(گالن)
C_p:گرمای‌ویژه سیال
Sg:وزن مخصوص سیال
ΔT:افزایش دما(فارنهایت)
H:گرمای‌نهان تبخیر(Btu/lb)
T:زمان(ساعت)

تبخیرکننده‌ها[1] (اواپراتور)

همانطور که از نام آن پیداست وظیفه تبخیر کردن را به عهده دارد. بعضاً در صنایع لبنی، غذایی، چوب، کاغذ و... لازم است مقداری از آب موجود در محصول را از آن جدا کرد. استفاده از انرژی بخار برای تبخیر آب فرآورده یکی از بهترین روش‌ها است.

شکل ۱۳-۸۹ مراحل تبخیر آب فرآورده را در یک تبخیرکننده تک مرحله مورد استفاده در صنایع غذایی را نشان می‌دهد.



۱. فرآورده وارد تبخیرکننده می‌شود.
۲. پمپ گردشی فرآورده را به سمت نازل بالای تبخیرکننده پمپاژ کرده و وارد قسمت داغ بالای تبخیرکننده می‌کند.
۳. بخار ورودی به تبخیرکننده در داخل کوئل‌های بخار در تماس با فرآورده سبب تبخیر آب آن می‌شود. فرآورده به کمک نیروی ثقل به سمت پایین مخزن حرکت کرده و بخار آب از آن جدا می‌شود. کندانس خروجی نیز توسط تله‌بخار به داخل سیستم کندانس بازگردانده می‌شود.

برای جلوگیری از بیش از حد خشک شدن فرآورده یک خط آب (تصفیه شده) در بالای تبخیرکننده تعبیه شده است که در صورت نیاز آب را وارد مخزن می‌کند.

شکل ۱۳-۸۹: سیکل عملکرد یک تبخیرکننده تک مرحله

1- Evaporator

تبخیرکننده فوق یک تبخیرکننده تک مرحله است. تبخیر کننده‌ها می‌توانند دو و یا چند مرحله نیز عمل کنند. در این شرایط می‌توان از بخار خارج شده از فرآورده در مرحله اول به عنوان بخار مورد نیاز در مرحله دوم بهره جست و بدین ترتیب در مصرف انرژی صرفه‌جویی نمود.

تبخیر کننده‌ها عموماً در ابعاد بزرگ ساخته می‌شوند و بهترین نوع تله برای آنها تله‌بخار فلوتری با ایرونت اتوماتیک با ضریب اطمینان ۳ است.

بار کندانس نیز از تقسیم ظرفیت گرمایی تبخیرکننده بر h_{fg} بخار بدست می‌آید.

گرم کننده‌های هوا

یونیت‌هیتر بخار[1]

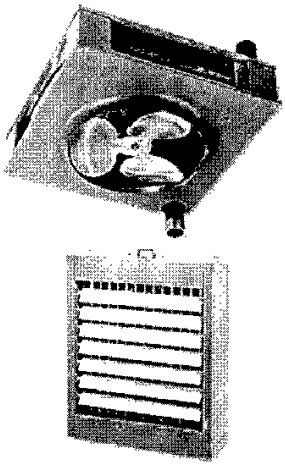
یونیت‌هیترهای بخار دارای مزایای زیادی هستند که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- نسبت به ابعاد دستگاه یونیت‌هیتر به رادیاتورهای بخار قدرت حرارتی بیشتری دارند.

۲- با توجه به نصب در ارتفاع جاگیری کمی دارند.

۳- به کمک فن دستگاه هوای گرم به شکل مناسبی توزیع می‌شود.

۴- سرعت عمل یونیت‌های بخار زیاد است و در مدت زمان کوتاهی می‌تواند یک سالن بزرگ کارخانه را گرم نماید.



شکل ۱۳-۹۰: دو نوع یونیت‌هیتر دیواری و سقفی

قدرت حرارتی استاندارد

قدرت حرارتی استاندارد یونیت‌هیترها در فشار بخار ورودی ۲ psi و دمای ورودی ۶۰°F تعیین شده است که به اختصار btus نامیده می‌شود. این بدان معناست که چنانچه فشار بخار و یا دمای ورودی به یونیت تغییر پیدا کند ظرفیت یونیت نیز دیگر آنی نیست که سازنده اعلام می‌کند.مگر آنکه سازنده جداول مجزایی برای فشار و دماهای مختلف را خود مستقلاً ارائه کند. در غیر این صورت باید این ظرفیت را تصحیح نمود.

1- Unit Heater

ضریب تصحیح ظرفیت یونیت‌هیتر بخار

برای تصحیح ظرفیت یونیت‌هیترهای بخار در این شرایط می‌توان از جدول ۱۳-۱۲ کمک گرفت.

جدول ۱۳-۱۲: ضریب تصحیح ظرفیت یونیت‌هیتر بخار

Unit Heater Type	Steam Pressure (PSIG)	Entering Air Temperature (°F)											
		-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Horizontal Delivery	0	1.54	1.45	1.37	1.27	1.19	1.11	1.03	0.96	0.88	0.81	0.74	0.67
	2	1.59	1.50	1.41	1.32	1.24	1.16	1.08	1.00	0.93	0.85	0.78	0.71
	5	1.64	1.55	1.46	1.37	1.29	1.21	1.13	1.05	0.97	0.90	0.83	0.76
	10	1.73	1.64	1.55	1.46	1.38	1.29	1.21	1.13	1.06	0.98	0.91	0.84
	15	1.80	1.71	1.61	1.53	1.44	1.34	1.28	1.19	1.12	1.04	0.97	0.90
	20	1.86	1.77	1.68	1.58	1.50	1.42	1.33	1.25	1.17	1.10	1.02	0.95
	30	1.97	1.87	1.78	1.68	1.60	1.51	1.43	1.35	1.27	1.19	1.12	1.04
	40	2.06	1.96	1.86	1.77	1.68	1.60	1.51	1.43	1.35	1.27	1.19	1.12
	50	2.13	2.04	1.94	1.85	1.76	1.67	1.58	1.50	1.42	1.34	1.26	1.19
	60	2.20	2.09	2.00	1.90	1.81	1.73	1.64	1.56	1.47	1.39	1.31	1.24
	70	2.26	2.16	2.06	1.96	1.87	1.78	1.70	1.61	1.53	1.45	1.37	1.29
	75	2.28	2.18	2.09	1.99	1.90	1.81	1.72	1.64	1.55	1.47	1.40	1.32
	80	2.31	2.21	2.11	2.02	1.93	1.84	1.75	1.66	1.58	1.50	1.42	1.34
	90	2.36	2.26	2.16	2.06	1.97	1.88	1.79	1.71	1.62	1.54	1.46	1.38
	100	2.41	2.31	2.20	2.11	2.02	1.93	1.84	1.75	1.66	1.58	1.50	1.42
	125	2.51	2.41	2.31	2.21	2.11	2.02	1.93	1.84	1.76	1.68	1.59	1.51
	150	2.60	2.50	2.40	2.30	2.20	2.11	2.02	1.93	1.84	1.76	1.67	1.59
Vertical Delivery and Power-Throw	0	1.49	1.41	1.33	1.25	1.18	1.11	1.03	0.96	0.90	0.83	0.76	0.69
	2	1.52	1.45	1.37	1.29	1.22	1.15	1.07	1.00	0.93	0.86	0.80	0.73
	5	1.58	1.50	1.42	1.34	1.27	1.20	1.12	1.05	0.98	0.91	0.85	0.78
	10	1.64	1.57	1.49	1.41	1.34	1.27	1.19	1.12	1.05	0.98	0.91	0.85
	15	1.70	1.62	1.55	1.47	1.40	1.32	1.25	1.18	1.11	1.04	0.97	0.90
	20	1.75	1.67	1.60	1.52	1.45	1.37	1.30	1.23	1.16	1.09	1.02	0.96
	30	1.83	1.75	1.68	1.61	1.53	1.46	1.39	1.32	1.25	1.18	1.11	1.04
	40	1.90	1.82	1.75	1.68	1.61	1.53	1.46	1.39	1.32	1.25	1.18	1.11
	50	1.96	1.87	1.81	1.74	1.67	1.59	1.52	1.45	1.38	1.31	1.24	1.17
	60	2.02	1.94	1.87	1.79	1.72	1.64	1.57	1.50	1.43	1.36	1.29	1.22
	70	2.07	1.99	1.92	1.84	1.76	1.69	1.62	1.55	1.47	1.40	1.33	1.27
	75	2.10	2.02	1.94	1.86	1.79	1.71	1.64	1.57	1.49	1.42	1.36	1.29
	80	2.11	2.04	1.96	1.88	1.80	1.73	1.66	1.59	1.51	1.44	1.38	1.31
	90	2.15	2.08	2.00	1.92	1.84	1.77	1.69	1.62	1.55	1.48	1.41	1.34
	100	2.19	2.11	2.03	1.95	1.88	1.80	1.73	1.66	1.59	1.52	1.45	1.38
	125	2.27	2.19	2.11	1.99	1.91	1.88	1.81	1.74	1.67	1.60	1.53	1.46
	150	2.34	2.26	2.18	2.10	2.03	1.95	1.88	1.81	1.74	1.67	1.60	1.53
	175	2.40	2.32	2.24	2.16	2.09	2.01	1.94	1.87	1.80	1.73	1.66	1.59
	200	2.45	2.37	2.29	2.22	2.14	2.07	1.99	1.92	1.85	1.78	1.71	1.64
	225	2.50	2.42	2.34	2.26	2.19	2.12	2.04	1.97	1.90	1.83	1.76	1.69
	250	2.54	2.46	2.38	2.31	2.23	2.16	2.09	2.01	1.94	1.87	1.80	1.73

در این جدول با توجه به فشار بخار ورودی به یونیت و دمای هوای ورودی به یونیت با توجه به نوع یونیت(دیواری، سقفی) ضریب تصحیح را می‌توان استخراج نمود. با اعمال این ضریب در ظرفیت استاندارد یونیت ظرفیت واقعی یونیت (btua) بدست می‌آید.

از تقسیم ظرفیت واقعی بدست آمده بر مقدار گرمای‌نهان تبخیر (h_{fg}) در فشار بخار ورودی به یونیت بار کندانس محاسبه می‌شود.

ضریب تصحیح دما

دمای هوای خروجی از یونیت نیز همواره به صورت استاندارد ذکر می‌شود. امّا چنانچه شرایط تغییر پیدا کند می‌بایست به کمک جدول۱۳-۱۳ ضریب تصحیح را استخراج و با کمک آن طبق رابطه۱۳-۹ دمای خروجی جدید را محاسبه نماییم.

$$ATR_A=(FAT_s-EAT_S)\times factor \qquad (۱۳-۹\text{ـالف})$$

$$FAT_A=EAT_{A+}ATR_A \qquad (۱۳-۲\text{ـ ب})$$

که در آن:

ATR_A: حداکثر دمای خروجی واقعی

FAT_S: حداکثر دمای خروجی استاندارد

FAT_A: حداکثر دمای خروجی واقعی

EAT_S: دمای ورودی استاندارد

EAT_A: دمای ورودی واقعی

جدول ۱۳-۱۴: ضریب تصحیح دما یونیت‌هیتر

Unit Heater Type	Steam Pressure (PSIG)	Entering Air Temperature (°F)											
		-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Horizontal Delivery	0	1.33	1.28	1.24	1.17	1.12	1.07	1.01	0.96	0.90	0.84	0.78	0.72
	2	1.38	1.33	1.27	1.22	1.17	1.11	1.06	1.00	0.94	0.88	0.83	0.76
	5	1.43	1.38	1.33	1.27	1.21	1.16	1.11	1.05	1.00	0.93	0.88	0.82
	10	1.50	1.45	1.40	1.35	1.29	1.24	1.19	1.13	1.07	1.02	0.95	0.90
	15	1.56	1.51	1.46	1.42	1.36	1.31	1.24	1.19	1.14	1.08	1.02	0.97
	20	1.61	1.56	1.52	1.46	1.41	1.36	1.30	1.25	1.19	1.14	1.08	1.02
	30	1.70	1.65	1.61	1.55	1.51	1.46	1.40	1.35	1.29	1.24	1.18	1.12
	40	1.78	1.73	1.68	1.62	1.58	1.54	1.48	1.43	1.38	1.32	1.26	1.21
	50	1.84	1.79	1.74	1.69	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.39	1.33	1.28
	60	1.91	1.86	1.81	1.75	1.71	1.66	1.61	1.56	1.50	1.45	1.40	1.33
	70	1.95	1.91	1.86	1.81	1.76	1.71	1.66	1.61	1.56	1.51	1.45	1.39
	75	1.97	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.53	1.47	1.42
	80	2.00	1.95	1.91	1.86	1.82	1.76	1.72	1.66	1.61	1.56	1.49	1.44
	90	2.04	2.00	1.95	1.90	1.86	1.81	1.75	1.70	1.65	1.60	1.54	1.49
	100	2.08	2.04	1.99	1.95	1.89	1.85	1.79	1.75	1.69	1.64	1.59	1.53
	125	2.17	2.13	2.09	2.04	1.99	1.94	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.63
	150	2.25	2.21	2.17	2.12	2.07	2.03	1.98	1.93	1.87	1.83	1.77	1.71
Vertical Delivery and Power-Throw	0	1.36	1.31	1.25	1.19	1.13	1.08	1.02	0.96	0.90	0.84	0.78	0.72
	2	1.41	1.35	1.29	1.24	1.18	1.12	1.06	1.00	0.94	0.88	0.82	0.76
	5	1.46	1.40	1.35	1.29	1.23	1.17	1.12	1.06	1.00	0.94	0.88	0.82
	10	1.54	1.48	1.43	1.37	1.31	1.25	1.20	1.14	1.08	1.02	0.96	0.89
	15	1.61	1.55	1.49	1.44	1.38	1.32	1.26	1.20	1.14	1.09	1.02	0.97
	20	1.67	1.61	1.55	1.50	1.44	1.38	1.32	1.26	1.20	1.15	1.08	1.02
	30	1.77	1.71	1.65	1.60	1.54	1.48	1.42	1.36	1.30	1.25	1.18	1.12
	40	1.85	1.79	1.74	1.68	1.62	1.56	1.51	1.45	1.39	1.33	1.27	1.21
	50	1.92	1.86	1.81	1.75	1.69	1.64	1.58	1.52	1.46	1.40	1.34	1.28
	60	1.99	1.93	1.88	1.82	1.76	1.70	1.65	1.58	1.53	1.47	1.41	1.35
	70	2.05	1.99	1.94	1.88	1.82	1.76	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.41
	75	2.08	2.02	1.96	1.91	1.85	1.79	1.73	1.67	1.62	1.56	1.50	1.43
	80	2.10	2.04	1.99	1.93	1.87	1.81	1.75	1.70	1.64	1.59	1.52	1.46
	90	2.15	2.09	2.04	2.00	1.92	1.86	1.80	1.74	1.69	1.63	1.57	1.51
	100	2.19	2.14	2.08	2.02	1.97	1.91	1.85	1.79	1.73	1.67	1.61	1.55
	125	2.29	2.24	2.18	2.12	2.07	2.01	1.95	1.89	1.83	1.77	1.71	1.65
	150	2.39	2.33	2.27	2.22	2.16	2.10	2.04	1.99	1.93	1.87	1.81	1.75
	175	2.46	2.41	2.35	2.29	2.24	2.18	2.12	2.06	2.00	1.94	1.88	1.82
	200	2.54	2.48	2.42	2.37	2.31	2.25	2.19	2.13	2.07	2.02	1.96	1.89
	225	2.60	2.54	2.49	2.43	2.37	2.32	2.26	2.20	2.14	2.08	2.02	1.96
	250	2.66	2.60	2.55	2.49	2.43	2.38	2.32	2.26	2.20	2.14	2.08	2.02

ضریب تصحیح ارتفاع

حداکثر ارتفاع توصیه شده برای نصب یونیت‌هیترها نیز مانند سایر شرایط با تغییر در فشار بخار و دمای ورودی تغییر می‌کند. بنابراین می‌بایست به کمک جدول۱۳-۱۴ ضریب تصحیح را استخراج و با کمک آن طبق رابطه۱۳-۱۰ حداکثر ارتفاع جدید را محاسبه نماییم.

جدول ۱۳-۱۴: ضریب تصحیح ارتفاع یونیت‌هیتر

	Steam Pressure, PSIG																	
	2	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	125	150	175	200	225	250
Correction Factor	1.00	0.97	0.94	0.92	0.89	0.86	0.84	0.82	0.80	0.79	0.77	0.76	0.76	0.74	0.72	0.71	0.70	0.69	0.68

تمرین:

مطلوبست ظرفیت و دمای خروجی و حداکثر ارتفاع واقعی یونیت بخاری چنانچه:

- ظرفیت استاندارد یونیت ۳۴۰,۰۰۰ باشد
- حد اکثر دمای خروجی از یونیت در حالت استاندارد ۱۲۰ °F باشد
- حداکثر ارتفاع استاندارد نصب یونیت باشد
- دمای محیط ۵۰ باشد
- فشار بخار ورودی ۳۰psi باشد

حل:

ابتدا با مراجعه به جدول ضریب تصحیح ظرفیت را برای بخار ۳۰ معادل ۱/۴۳ استخراج می‌کنیم

$BTU_A=BTU_S\times factor$

$۳۴۰۰۰۰\times۱/۴۳=۴۸۶۲۰۰BTU$

$۴۸۶۲۰۰\div۹۲۸/۵=۵۲۳/۶lb/hr$

$(۱۲۰-۶۰)\times۱/۴=۸۴°F$

$۵۰+۸۴=۱۳۴\ °F$

$۲۰\times۰/۸۶=۱۷/۲ft$

دبی و دمای هوای عبوری

برای بدست آوردن ظرفیت واقعی یونیت چنانچه تنها دبی هوای فن یونیت و دمای عبوری در دست باشد می‌توان به کمک رابطه۱۳-۱۱ ظرفیت واقعی یونیت را به‌دست آورد.

$Btu/hr= CFM\times1.08\times°F$

تمرین

مطلوبست ظرفیت واقعی یونیت‌هیتر و بارکندانس چنانچه ظرفیت هوادهی یونیت ۴۰۰۰ CFM و دمای هوای عبوری پس از تبادل حرارتی ۱۰۰ °F و فشار بخار ۶۰ psi باشد.

$۴۰۰۰\times۱/۰۸\times۱۰۰=۴۳۲۰۰۰$

گرمای نهان بخار ۶۰ psi برابر ۹۰۴/۵Btu/hr

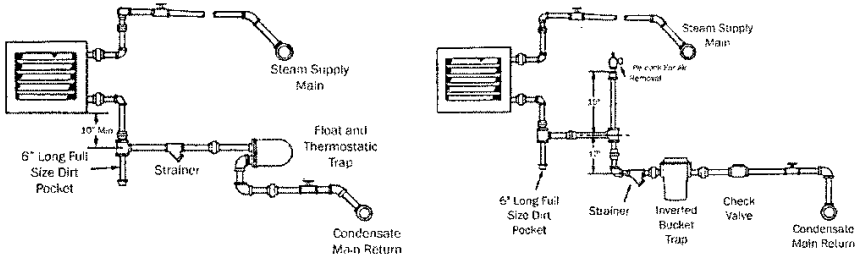
$۴۳۲۰۰۰\div۹۰۴/۵=۴۷۸Lb/hr$

انتخاب تله

یونیت‌هیترهای بخار عموماً دارای شیر کنترل در ورودی بخار نیستند و فضای بخار در آنها فضای کوچکی است. با توجه به حضور فن پشت محفظه بخار سرعت تبدیل بخار به کندانس در آنها نسبتاً سریع است. در این شرایط تخلیه مداوم کنداس در آنها برای جلوگیری از کاهش ضریب تبادل حرارتی و درنتیجه وزش هوای سرد از آنها امری الزامی است.

بنابراین بهترین نوع تله برای تخلیه کندانس مداوم از یونیت‌هیترهای بخار تله‌بخار فلوتری مجهز به ایرونت اتوماتیک با ضریب اطمینان ۲ است. انتخاب دوم تله‌بخار سطلی معکوس با ضریب اطمینان ۳ است.

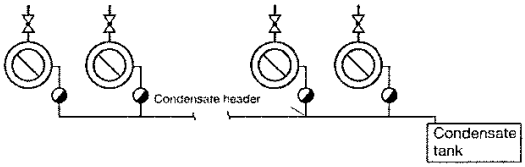
در یونیت‌های کوچک جریان بخار هوا را به سمت تله هدایت می‌کند و چنانچه از تله‌بخار با قابلیت هواگیری استفاده شده باشد نیازی به نصب ایرونت مجزا نیست. اما دریونیت‌های بزرگ نصب ایرونت مجزا برای حفظ یکنواختی دمای کل یونیت ضروری است. در صورت نصب تله‌بخار سطلی معکوس به دلیل قابلیت هواگیری ضعیف تله، نصب یک شیر ایرونت موازی با تله ضروری است.



شکل ۱۳-۹۱: ۱)شماتیک نصب تله‌بخار سطلی معکوس با ایرونت موازی ۲) نصب تله‌بخار فلوتری با ایرونت اتوماتیک

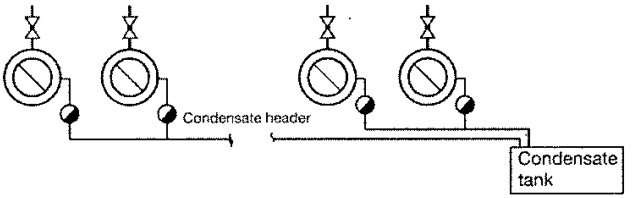
در سالن‌هایی که یونیت‌هیترها به صورت سری متصل هستند میزان کندانس در یونیت‌های اولیه بیشتر از یونیت‌های انتهایی است بنابراین می‌بایست هر یونیت تله‌بخار مجزا داشته باشد و از تله‌بخار مشترک برای یونیت‌ها استفاده نشود.

در سالن‌های بزرگ برای اتصال کندانس به یکدیگر باید مراقب بروز ضربه‌قوچ نیز بود.



شکل ۱۳-۹۲: شماتیک اتصال کندانس تله‌ها به یک خط کندانس

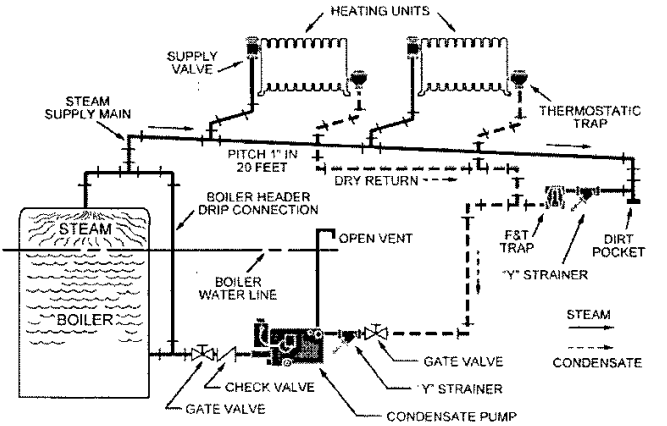
شکل ۱۳-۹۲ اتصال خطوط کندانس در فواصل طولانی با لوله مشترک را نشان می‌دهد. در این شرایط کندانس خطوط دورتر در طول مسیر سرد می‌شوند. زمانی که کندانس و بخار فلش خارج شده از تله‌های موجود در انتهای خط وارد لوله انتقال کندانس می‌شود برخورد آنها با کندانس سرد با ایجاد شوک دمایی ضربه‌قوچ به‌وجود می‌آورد. برای جلوگیری از بروز ضربه‌قوچ می‌بایست از خطوط انتقال کندانس مستقل برای یونیت‌های دورتر استفاده شود.



شکل ۱۳-۹۳: شماتیک اتصال کندانس تله‌ها به خطوط کندانس مستقل

رادیاتور بخار[1]

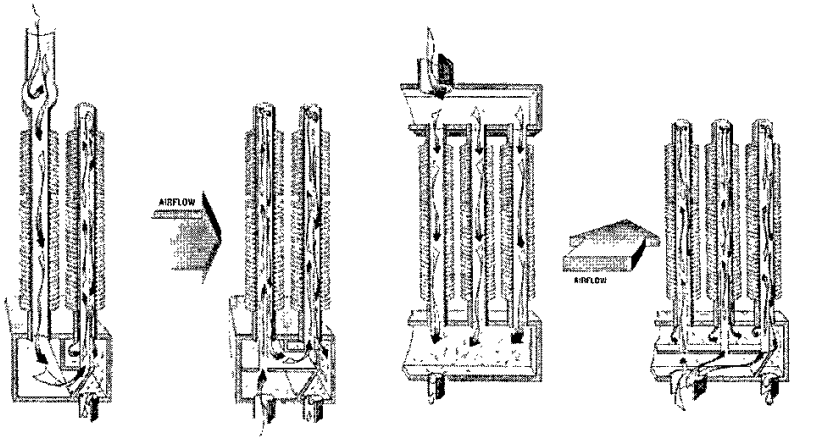
امروزه گرمایش ساختمان توسط رادیاتور بخار دیگر صورت نمی‌گیرد. برای محاسبه بار کندانس خروجی از رادیاتورهای بخار می‌توان از تقسیم ظرفیت آنها بر گرمای‌نهان تبخیر (h_{fg}) در فشار بخار ورودی میزان کندانس را محاسبه نمود. بهترین انتخاب برای رادیاتورهای بخار تله‌بخار رادیاتوری ۹۰ درجه است.



شکل ۱۳-۹۴: شماتیک چرخه بخار و کنداس در گرمایش رادیاتوری

کوئل‌های هوای گرم[2]

کوئل‌های هوای گرم شبیه یک لوله طولانی هستند که گذر هوا از آنها باعث بالا رفتن دمای هوا می‌شود. جهت حرکت بخار در این کوئل‌ها انواع گوناگونی دارد. (شکل۱۳-۹۶)



شکل ۱۳-۹۶: شماتیک گذر بخار در کوئل‌های هوای گرم

1- Steam Radiator
2- Steam Coil

از کوئل‌های بخار برای گرم کردن هوای هواسازها و پیش گرم کن‌های کانالی سیستم‌های HVAC استفاده می‌شود. همچنین از کوئل‌های بخار برای گرم کردن انواع فرآورده در صنایع کاغذ سازی، مقوا سازی، لبنیات و ... استفاده می‌شود. در کوئل‌های اخیر به دلیل احتیاج به دمای بالاتر از هواسازها احتاج به بخار با فشار بالاتری است.

محاسبه کندانس

در صورت مشخص بودن ظرفیت دستگاه می‌توان به سادگی با تقسیم ظرفیت دستگاه بر گرمای‌نهان تبخیر(h_{fg}) میزان کندانس را محاسبه نمود. در غیر این صورت می‌توان از رابطه۱۳-۱۲ در سیستم انگلیسی و از رابطه ۱۳-۱۳در سیستم بین‌المللی استفاده نمود.

$$M = \frac{F \times C_p \times D \times \Delta T \times ۶۰}{h_{fg}} \qquad (۱۳-۱۲)$$

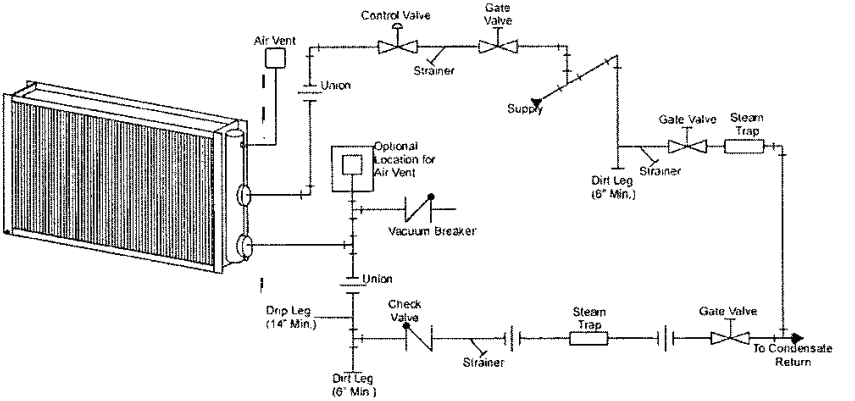
که در آن:
M:بار کندانس
C_p:گرمای‌ویژه هوا (جرمی)
ΔT:افزایش دما
h_{fg}:گرمای‌نهان تبخیر
D:چگالی هوا
F: دبی هوا(CFM)

$$M = \frac{V \times C_p \times \Delta T \times ۳۶۰۰}{h_{fg}} \qquad (۱۳-۱۳)$$

که در آن:
M:بار کندانس
C_p:گرمای‌ویژه هوا (حجمی)
ΔT:افزایش دما
h_{fg}:گرمای‌نهان تبخیر
V:دبی هوا

در کوئل‌های بخار دمای یکنواخت کل سطح کوئل الزامی است. از آنجاییکه وجود هوا و آب ناشی از کندانس در داخل کوئل ضریب تبادل حرارتی را کاهش می‌دهد فلذا می‌بایست با نصب ایرونت و تله‌بخار مناسب هر دو را از کوئل به‌موقع خارج نمود.

تله‌بخار مناسب برای کوئل‌های بخار تله‌بخار با عملکرد مکانیکی است. در مواردی که یونیت مجهز به شیر کنترل نباشد تله‌بخار سطلی معکوس با ضریب اطمینان ۲ انتخاب مناسبی است. امّا از آنجاییکه تله‌بخار سطلی معکوس در برابر تغییرات ناگهانی فشار ممکن است دچار اختلال شود برای کوئل‌های مجهز به شیر کنترل استفاده از تله‌بخار فلوتری مجهز به ایرونت اتوماتیک با ضریب اطمینان ۳ بهترین انتخاب است.



شکل ۱۳-۹۷: ایزومتریک خط بخار و کندانس کوئل بخار هوای گرم

در کوئل‌های بخار برای جلوگیری از ایجاد خلاء نصب خلاءشکن اجباری است.

در کوئل‌های کوچک جریان بخار خود می‌تواند هوا را به سمت تله هدایت کند و چنانچه تله‌بخار قابلیت هواگیری مناسبی داشته باشد دیگر نیازی به نصب ایرونت جداگانه نیست. اما در کوئل‌های بزرگ حتی ممکن است احتاج به نصب بیش از یک ایرونت باشد. زیرا گیر افتادن هوا در گوشه‌های یونیت سبب سرد شدن آن منطقه شده و در نتیجه یکنواختی دمای کوئل را کاهش داده و از ظرفیت آن به شدّت می‌کاهد.

کوئل‌های بخار صنعتی برای تهیه هوای گرم مورد نیاز فشار بخار بالایی دارند و در نتیجه میزان بخار فلش ایجاد شده بعد از تله زیاد است. چنانچه امکان نصب سیستم کندانس تحت فشار و تانک‌فلش برای استفاده مجدد از بخار فلش نباشد سیستم کندانس با ونت به اتمسفر میزان زیادی از بخار فلش را به اتمسفر تخلیه کرده و انرژی زیادی را تلف می‌کند. بهترین راه برای بازیافت انرژی در این کوئل‌ها استفاده از تانک‌فلش و سیستم کندانس تحت فشار است.

نصب تله‌بخار مشترک برای کوئل‌های بخار موازی و یا سری مجاز نیست. زیرا عدم برابری فشار خروجی یونیت‌ها سبب می‌شود بخار از کوئل‌های با فشار خروجی بالاتر وارد تله شود و مسیر خروجی تله مسدود شود. در این شرایط کندانس سایر کوئل‌ها جمع شده و به داخل کوئل باز می‌گردد. این امر موجب کاهش ضریب انتقال حرارت، ضربه‌قوچ و خوردگی می‌شود.

سیلندرهای گردان[1]

این سیلندرها بنابر سرعت دوران و محل قرارگیری فرآورده تقسیم‌بندی می‌شوند.

۱- خارجی: سیلندرهای مورد استفاده در رخشوی‌خانه و صنایع کاغذ از این نوع‌اند. در این سیلندرها بخار در داخل سیلندر و مثلاً ملافه در گرداگرد سیلندر حرکت می‌کند.

۲- داخلی: بر عکس حالت قبل بخار در خارج و فرآورده در داخل قرار دارد. مانند سیلندرهای صنایع غذایی.

سرعت دوران سیلندرها و فشار بخار ورودی مورد نیاز بنابر درجه حرارت مورد نیاز متفاوت است.

1- Rotating Cylinder

بار کندانس

مقدار کندانس خشک‌کن‌ها را می‌توان از رابطه۱۳-۱۴ برای خشک‌کن‌های داخلی و رابطه۱۳- ۱۵ برای خشک‌کن‌های خارجی محاسبه نمود.

$$M=3.14DRW \qquad (۱۳-۱۴)$$

که در آن:

M:بار کندانس

D:قطر سیلندر

R:دبی تبدیل بخار به کندانس در واحد سطح

W:طول سیلندر

داخلی:

$$M = \frac{NLK}{P} \qquad (۱۳-۱۵)$$

که در آن:

M:بار کندانس

N:تعداد لوله‌ها

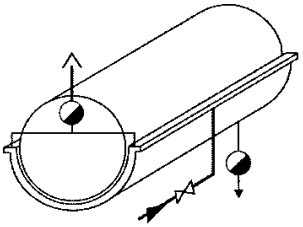
L:طول لوله‌ها

R: دبی تبدیل بخار به کندانس در واحد سطح

P:طول لوله با ازاء یک فوت مربع سطح خارجی

نکات اجرایی

دمای یکنواخت یکی از مسائل مهم در عملکرد خشک کن‌های دوار است. بنابراین می‌بایست هوای موجود در سیلندر را کاملاً تخلیه نمود. امّا به این نکته نیز باید توجه داشت که ایرونت همواره مقداری بخار زنده را نیز همرا با هوا خارج می‌کند. حال چنانچه ایرونت صحیح عمل نکند و بخار زنده بیشتری خارج کند ممکن است در نزدیکی محل نصب ایرونت سیلندر سرد شود. این اتفاق در سیلندرهای داخلی شایع است.



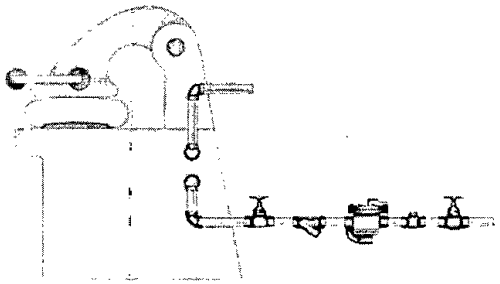
شکل ۱۳-۹۸: شماتیک نصب تله روی سیلندر

پرس‌های گرم[1]

پرس‌های گرم که معروف‌ترین آن پرس خشک‌شویی است و وظیفه آن اتوکشی لباس است. در

1- Steam Press

صنعت از این پرس‌های برای شکل دهی انواع لاستیک و همچنین در صنایع چوب برای ساخت سه لایی استفاده می‌شود.



شکل ۱۳-۹۹: شماتیک نصب تله زیر پرس گرم

تله‌بخار ترمودینامیکی برای پرس‌ها انتخاب مناسبی است و مقدار کندانس پرس‌ها را می‌توان از رابطه۱۳-۱۶ محاسبه نمود.

$$M=3.14ARS \qquad (۱۳-۱۶)$$

که در آن:

M: بار کندانس

R: دبی تبدیل بخار به کندانس در واحد سطح

A: سطح سیلندر

S: ضریب اطمینان(۳)

بار کندانس در انتقال بخار

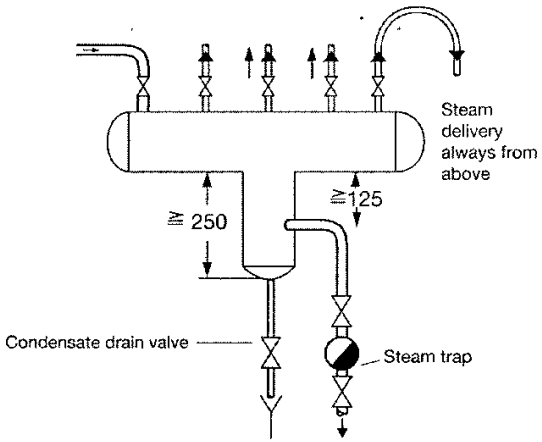
همانطور که پیش‌تر گفتیم وظیفه سیستم انتقال بخار رساندن بخار خشک به مصرف کننده‌های بخار است. بنابراین می‌بایست آب خارج شده با بخار از بویلر و کندانس به‌وجود آمده بر اثر تبادل حرارتی با محیط را از تمام بخش‌های خط انتقال بخار شامل الف) کلکتور اصلی ب) خطوط اصلی انتقال و ج) خطوط فرعی بخار خارج کرده و در صورت امکان به سیستم کندانس باز گردانیم.

کلکتور اصلی

کلکتور دیگ‌خانه می‌تواند به صورت افقی و یا عمودی ساخته شود. این کلکتور فارغ از نوع و سایز آن باید مجهز به آبریز و تله‌بخار بوده و آب را از کلکتور تخلیه نماید.

در کلکتورهای عمودی نیازی به اجرای آبریز مجزا نیست و نصب تله در انتهای کلکتور کفایت می‌کند. امّا در کلکتورهای افقی می‌بایست با نصب یک آبریز و ایجاد شیب به سمت آن و به کمک تله‌بخار آب را قبل از آنکه با بخار به سمت مصرف کننده‌های هدایت شود خارج نمود.

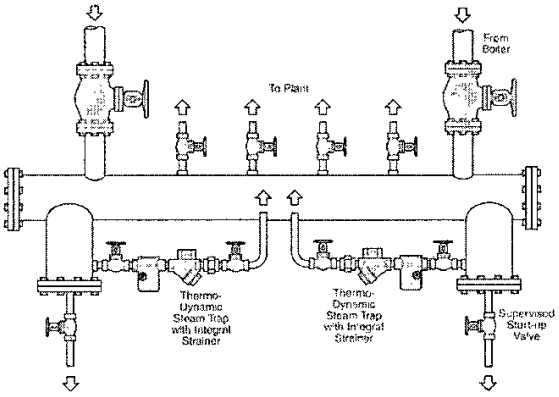
بهترین محل برای نصب آبریز در کلکتور دقیقاً مرکز آن است. بدین ترتیب حتی در کلکتورهای طویل می‌توان تنها با نصب یک آبریز آب را تخلیه نمود. اما اجرای آن به دلیل نیاز به شیب دادن دو طرف کلکتور به سمت آبریز دشوار است. (شکل و جدول۱۳-۱۰۰سایز مناسب آبریز را با توجه به سایز کلکتور نمایش می‌دهد)



D1	mm	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	600
D2	mm	50	65	80	80	80	100	150	150	200	200	200	250	250	250

شکل ۱۳-۱۰۰: شماتیک نصب تله زیر کلکتور با یک آبریز

در صورت اجرای آبریز در ابتدا و یا انتهای کلکتور باید به این نکته توجه کرد که در کلکتورهای طویل برای تخلیه کامل آب می‌بایست در هر دو طرف کلکتور آبریز نصب نمود. اما در کلکتورهای کوتاه نصب آبریز در یک طرف کفایت می‌کند.



شکل ۱۳-۱۰۱: شماتیک نصب تله زیر کلکتور با دو آبریز

آبریزهای کلکتور باید به یک شیر تخلیه مجهز باشد تا در زمان راه‌اندازی اولیه بتوان از آن کمک گرفت و همچنین از آن برای خارج کردن ذرات معلق موجود در آب گیر افتاده در پایین آبریز استفاده می‌شود.

بهترین نوع تله‌بخار برای کلکتور بخار تله‌بخار با عملکرد مکانیکی است. از آنجاییکه تله‌بخار زیر کلکتور ورود هوای ناچیزی دارد تله‌بخار سطلی معکوس انتخاب اول است. تله‌بخار سطلی معکوس

همچنین در دفع ذرات معلق عملکرد مناسبی داشته و همچنین می‌تواند در بارهای کم نیز با بازده مناسبی عمل نماید.تله‌بخار فلوتری را نیز می‌توان به عنوان گزینه دوم در نظر گرفت.

در کلکتورهای با فشار بالا و همچنین کلکتورهای بخار سوپرهیت و زمانی که احتمال یخ زدگی وجود دارد تله‌بخار ترمودینامیکی انتخاب اول است.

ظرفیت تله‌بخار کلکتور را می‌توان معادل $\frac{۱}{۶}$ کل بخار ورودی به کلکتور در نظر گرفت که این مقدار در صورت نصب دو آبریز نصف نمی‌شود.

آب خارج شده از کلکتور اصلی هرزآب بوده و به هیچ عنوان نباید به سیستم کندانس هدایت شود.

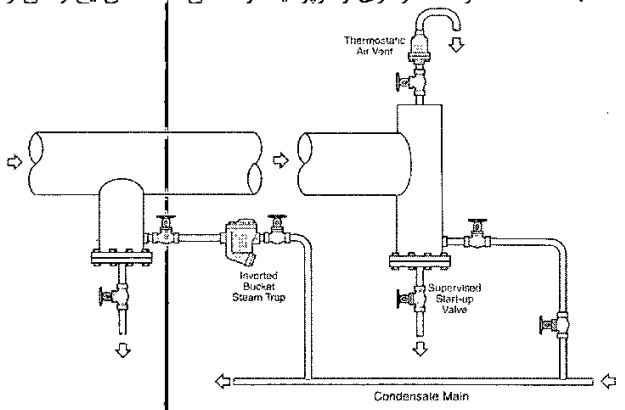
خطوط اصلی

وقتی که دیگ‌بخار خاموش می‌شود کل بخار موجود در شبکه انتقال بخار به کندانس تبدیل می‌شود. بعد از راه‌اندازی مجدد سیستم نیز خطوط سرد انتقال، بخار را به سرعت به کندانس تبدیل می‌کند که این آب می‌تواند منجر به بروز ضربه‌قوچ گردد. همچنین در خطوط اصلی حین کار نیز حتی با بهترین کیفیت عایق کاری همواره تبادل حرارتی وجود دارد و بخشی از بخار به کندانس تبدیل می‌شود.

در دیگ‌خانه‌های کوچک می‌توان با نصب یک شیر سوزنی در زیر خط انتقال در استارت اولیه آب سیستم را تخلیه نمود و بعد از آن نیز آبگیری زیر کلکتور کفایت نموده و احتیاجی به نصب تله نیست.

اما در دیگ‌خانه‌های بزرگ و خطوط انتقال بخار طولانی(بیش از ۳۰ متر) نصب دریپ‌لگ به ازاء هر ۳۰-۵۰ متر الزامی است.

تله‌بخار مناسب برای این منظور مشابه تله‌بخار کلکتور اصلی بوده و تله‌بخار با عملکرد مکانیکی بهترین گزینه است به استثناء خطوط فشار قوی وسوپرهیت و نقاطی که امکان یخ زدگی وجود دارد.



شکل ۱۳-۱۰۲: شماتیک نصب تله‌بخار خطوط اصلی

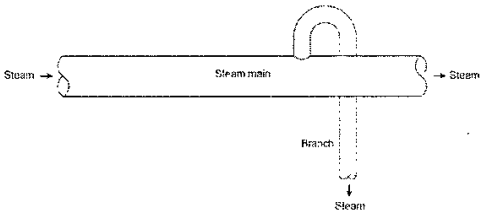
ظرفیت تله‌بخار مناسب برای دریپ لگ‌های خطوط اصلی براساس حداکثر بار کندانس در زمان راه‌اندازی محاسبه می‌شود. از آنجاییکه در استارت اولیه فشار بخار پایین است و به دلیل سرد بودن سیستم آهنگ تولید کندانس زیاد است. همین آهنگ سریع باعث می‌شود فشار بخار به مقدار کمی بالاتر از فشار اتمسفر باشد و در نتیجه ΔP تله بسیار کم است بنابراین ضریب اطمینان در انتخاب تله ۳ است.

جدول۱۲-۸ مقدار کندانس تولیدی در زمان راه‌اندازی براساس فشار بخار و طول را نشان می‌دهد. از تقسیم عدد استخراج شده از جدول ۱۲-۸ طول ساعت راه‌اندازی دبی متوسط کندانس محاسبه می‌شود.

به عنوان محاسبات سر انگشتی و کاملاً دقیق تله‌بخار "½ همواره برای خطوط دریپ لگ کفایت می‌کند مگر آنکه فشار بیش از ۷۰ اتمسفر و خط اصلی بزرگتر از "۱۲ باشد.

خطوط فرعی

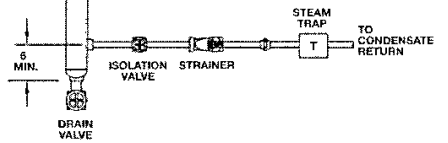
به خطوط بخاری که از خط اصلی منشعب شده و طولی کمتر از ۱۰ متر دارد، خطوط فرعی بخار می‌گویند.انشعاب‌های فرعی همواره می‌بایست از قسمت فوقانی خط اصلی گرفته شود تا آب نتواند همراه با بخار از آن خارج شود.



شکل ۱۳-۱۰۳: طریق صحیح انشعاب‌گیری بخار از خطوط اصلی

اما زمانی که این خطوط فرعی بخار را به سمت شیرهای کنترل هدایت می‌کنند ممکن است در زمانی که شیر کنترل بسته است بخار محبوس شده به کندانس تبدیل شود و با باز شدن شیر و وارد شدن بخار آب با سرعت به سمت شیر حرکت کرده و به آنها آسیب بزند. برای رفع این معضل می‌بایست قبل از شیر کنترل با نصب دراپ لگ آب موجود در خط فرعی را تخلیه نمود.

قطر دراپ لگ همواره برابر سایز خط فرعی بوده و تله‌بخار با سایز "$\frac{1}{2}$ برای آن کفایت می‌کند. نصب شیر تخلیه دستی برای خطوط فرعی به دلیل احتمال بسیار کم وجود ذرات معلق ضروری نیست.



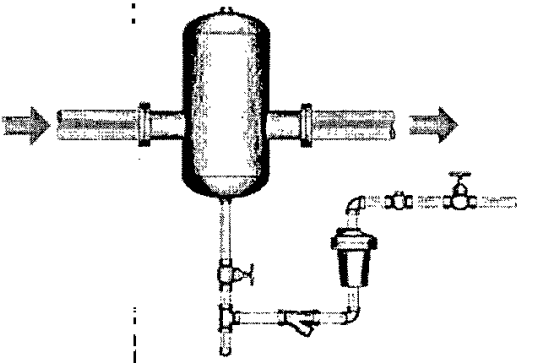
شکل ۱۳-۱۰۴: شماتیک نصب دراپ لگ

تله‌بخار مناسب برای این منظور مشابه تله‌بخار دریپ لگ بوده و تله‌بخار با عملکرد مکانیکی بهترین گزینه است به استثناء خطوط فشار قوی وسوپرهیت و نقاطی که امکان یخ زدگی وجود دارد.

سپریتور

اساس کار سپریتورها براساس اینرسی حرکتی استوار است و وظیفه آنها جدایش آب از بخار است تا بدین ترتیب ضریب خشکی بخار را بهبود ببخشند.

تله‌بخار مناسب برای این منظور مشابه تله‌بخار دریپ لگ بوده و تله‌بخار با عملکرد مکانیکی بهترین گزینه است به استثناء خطوط فشار قوی وسوپرهیت و نقاطی که امکان یخ زدگی وجود دارد.



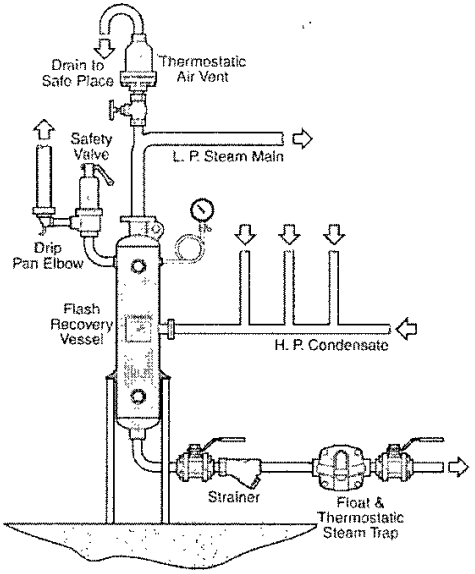
شکل ۱۳-۱۰۵: شماتیک نصب تله‌بخار زیر سپریتور

ظرفیت تله‌بخار زیر سپریتور را می‌توان معادل ۱۵٪ از کل بخار عبوری از سپریتور در نظر گرفت.

تانک‌فلش

تانک‌فلش وظیفه جدایش بخار فلش و آب ناشی از کندانس و یا زیرآب بویلر را در جریان دو فازی آب و بخار فلش به عهده دارد. این تانک می‌تواند به صورت عمودی و یا افقی ساخته شود. اساس عملکرد این تانک براساس نیروی ثقل است. بدین ترتیب که آب پس از ورود به مخزن به دلیل جرم حجمی بالاتر نسبت به بخار به سمت پایین و بخار فلش به سمت بالا حرکت می‌کند. بخار فشار ضعیف ایجاد شده از طریق سیستم انتقال به سمت مصرف کننده‌های فشار ضعیف هدایت می‌شود. آب محصور شده در مخزن می‌تواند به کمک یک پمپ و یا یک تله‌بخار از تانک‌فلش تخلیه شود. در سیستم کندانس تحت فشار آب تخلیه شده از تانک به سیستم کندانس باز گردانده می‌شود و در سیستم بازیابی انرژی بلودان می‌تواند برای بازیابی مجدد به مبدل ارسال شود و یا در صورت تخلیه به فاضلاب باید به یک سیستم خنک‌کننده مجهز شود.

از آنجاییکه تانک‌فلش فشار پایینی دارد و آب موجود در تانک باید به صورت مداوم و بدون تاخیر از آن خارج شود تله‌بخار فلوتری با ضریب اطمینان ۳ انتخاب اول خواهد بود و تله‌بخار سطلی معکوس با ضریب اطمینان ۳ انتخاب دوم است. البته تخلیه آب تانک‌فلش به وسیله پمپ الکتریکی و مکانیکی نیز قابل اجراست.



شکل ۱۳-۱۰۶: شماتیک تانک‌فلش خط کندانس

بار کندانس تله‌بخار را می‌توان از کسر وزن بخار فلش ایجاد شده از کل کندانس و یا زیرآب ورودی به تانک محاسبه نمود. برای مثال در تانکی با فشار ورودی۱۲۵psi با تولید بخار فلش تحت فشارpsi ۲۰ ده درصد از کندانس به بخار فلش تبدیل خواهد شد. بنابراین بار کندانس تانک فوق برابر نود درصد از کل کندانس و یا آب زیرآب وارد شده به تانک است.

تزریق مستقیم بخار[1]

اساساً انتقال انرژی به دو روش مستقیم و غیرمستقیم قابل اجراء است. در روش غیر مستقیم بخار با سیال ثانویه تماس نداشته و صرفاً از انرژی نهان تبخیر (h_{fg}) آن استفاده می‌شود و آب ناشی از کندانس به سیستم باز می‌گردد. اما در سیستم تزریق مستقیم بخار که غالباً برای گرمایش آب از آن بهره گرفته می‌شود بخار مستقیماً به داخل سیال ثانویه وارد می‌شود. در این نوع از مصرف کننده‌های بخار هیچ کندانسی وجود ندارد. حبابهای بخار به محض ورود شروع به سرد شدن می‌کنند و در نتیجه فشار آنها کم شده و حجم آنها زیاد می‌شود. حبابهای بزرگ شده به کندانس تبدیل می‌شود و به یک باره حجم آن به شدت کاهش می‌یابد. ترکیدن حباب و در نتیجه آن ایجاد تلاطم سبب بالا رفتن سرعت گرمایش می‌شود.

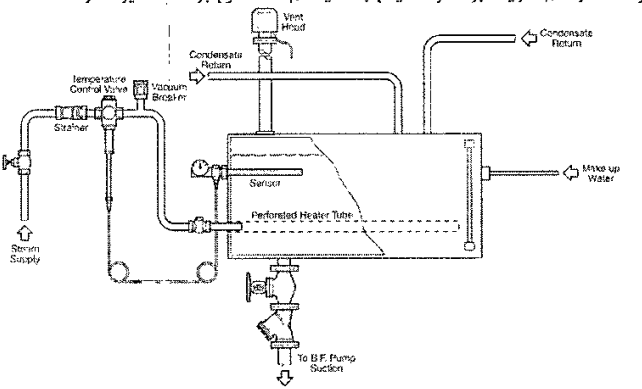
در این روش دیگر نیازی به نصب ایرونت و تله‌بخار و سیستم کندانس نبوده و هزینه اولیه پایینی دارد.

دی‌اریتورها و منابع آب تغذیه بویلر یکی از پرکاربردترین نقاطی است که از تزریق مستقیم بخار در آن استفاده می‌شود. همچنین از تزریق مستقیم بخار برای بالا بردن دما و رطوبت نیز استفاده می‌شود. مهمترین مثال آن سونای بخار و اتاق پخت سوسیس و کالباس است.

1- Direct Steam Injection

تانک پیش‌گرم

در دیگ‌خانه‌های کوچک ساخت دی‌اریتور در ابعاد کوچک و اجرای سیستم لوله‌کشی آن به صرفه نمی‌باشد. بهترین راه برای گرم کردن آب تغذیه بویلر تزریق مستقیم بخار به آب است. اجرای این سیستم بسیار ساده و کم هزینه بوده و احتیاج به سیستم کندانس برگشت نیز ندارد.



شکل ۱۳-۱۰۷: شماتیک تانک پیش گرم آب بویلر

نکته حائزاهمیت در تزریق بخار به آب تبدیل کامل بخار به کندانس است. این تزریق باید به گونه‌ای باشد که کل حباب‌های بخار تا رسیدن به سطح منبع به کندانس تبدیل شده باشند و به صورت بخار به اتمسفر تخلیه نشوند. در غیر این صورت زمان گرمایش افزایش یافته و انرژی نیز تلف خواهد شد.

الف) لوله تزریق و ارتفاع سطح آب: لوله تزریق بخار نباید به سطح آب مخزن نزدیک باشد تا بدین ترتیب حباب‌های بخار فرصت کافی برای کندانس شدن را پیدا کنند. از طرف دیگر تزریق این حباب‌ها به داخل آب از طریق سوراخ‌های ایجاد شده روی لوله نصب شده در کف مخزن انجام می‌گیرد.(انتهای لوله مسدود است و بخار صرفاً از سوراخ‌ها خارج می‌شود)

طول لوله تزریق را می‌بایست حتی المقدور بلند در نظر گرفت تا بتوان به کمک ایجاد سوراخ‌های ریز در سرتاسر لوله ریتم توزیع حباب‌های بخار در داخل آب را یکنواخت نمود.در غیر این‌صورت در لوله کوتاه به سوراخ‌های بزرگ‌تر احتیاج است که همین امر سبب ایجاد حباب‌های بزرگ‌تری خواهد شد.

سایز این لوله براساس حداکثر بخار مورد نیاز با سرعت حد اکثر $\frac{m}{s}$ ۲۰ انتخاب می‌شود. برای انتخاب قطر سوراخ‌ها می‌توان به کمک جدول میزان تزریق آنها را در فشارهای مختلف محاسبه نمود که در آن براساس اختلاف فشار بین بخار داخل لوله و ارتفاع آب(معادل ۱psi(۰/۱bar) به ازاء ۲ft(۱ m) ستون آب) میزان بخار خارج شده از سوراخ را نشان می‌دهد[1].

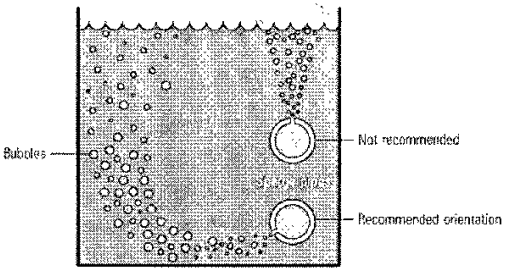
تعداد این سوراخ‌ها را می‌توان از تقسیم کل بخار مورد نیاز بر ظرفیت عبور بخار هر سوراخ به‌دست آورد. سوراخ‌های لوله تزریق می‌بایست هم سایز و با فاصله برابر از هم ایجاد شوند.

محل این سوراخ‌ها نیز بنابر شرایط قرارگیری لوله در داخل مخزن متفاوت است. چنانچه بتوانیم لوله را از کف مخزن۴۰-۵۰cm بالاتر نصب نماییم تزریق بخار می‌تواند رو به پایین صورت گیرد. در فاصله‌های نزدیک‌تر این امر سبب خوردگی و سوراخ شده مخزن در طول زمان می‌گردد. در غیر این صورت محل اجرای

---

[1]. مراجعه شود به فصل ضمائم

این سوراخ‌ها باید زمانی، که از انتهای لوله به آن نگاه می‌کنیم زاویه ساعت‌های ۴ یا ۸ باشد.



شکل ۱۳-۱۰۸: طریقه صحیح و نا صحیح تزریق بخار

بنابراین تانک پیش گرم بویلر بهتر است نسبت عرض به ارتفاع کوچک‌تری داشته باشد. البته از آنجاییکه برای جلوگیری از بروز پدیده کاویتاسیون در پمپ تغذیه بویلر این مخازن را می‌بایست در حداکثر ارتفاع ممکن نصب نمود ساخت آن با ارتفاع زیاد همیشه امکان‌پذیر نیست.

ب)فشار بخار: هرچه فشار بخار ورودی به تانک بیشتر باشد سرعت حرکت حباب‌های بخار بیشتر خواهد شد و همین امر سبب می‌شود که حباب‌ها به سرعت به سطح آب برسند و در نتیجه زمان کافی برای کندانس شدن آنها وجود نداشته باشد.(هرچه دمای آب مخزن بالاتر باشد به زمان بیشتری نیاز است)

از طرف دیگر حباب‌های بخار در داخل تانک پس از تبادل حرارتی و با کاهش دما با کاهش فشار همراه می‌شوند و همین کاهش فشار سبب افزایش حجم آنها می‌شود. بنابراین بهتر است با ایجاد سوراخ‌های ریز و فشار پایین بخار حباب‌های ریز و کم فشار را وارد مخزن کنیم. این حباب‌های ریز و کم فشار آهنگ انتقال حرارت بهتری را ایجاد خواهد کرد.

برای مثال چنانچه یک حجم معینی از بخار به شکل یک حباب کروی را به هشت حباب کوچکتر با مجموع حجم برابر حباب اول تقسیم کنیم سطح جانبی هشت حباب دو برابر سطح جانبی حباب بزرگتر خواهد بود.

فشار بخار ورودی را می‌توان به کمک شیر فشارشکن کنترل نمود.همانطور که پیش‌تر گفتیم با تقلیل فشار انرژی بخار تقلیل نیافته و ثابت می‌ماند. فشار بخار ورودی به تانک حداکثر ۳۰psi(۲bar) است. اما بهترین فشار می‌تواند ۱۰ psi -۱۵ باشد.

ج)خلاء شکن: از آنجاییکه تزریق بخار به مخزن توسط شیر کنترل، کنترل می‌شود با قطع شدن بخار ورودی و کندانس بخار موجود در لوله انتقال بخار و ایجاد خلاء آب به داخل لوله مکیده می‌شود. زمانی که سیال آب است این امر مشکلی خاصی را به‌وجود نمی‌آورد اما چنانچه سیال غلیظ یا خورنده تحت فرایند باشد باید با نصب یک خلاء شکن مانع از ورود آن شد.

د) نظافت: زمانی که آب داخل تانک آب‌سخت باشد سختی‌های بی‌کربناتی با افزایش دما بر روی لوله تزریق رسوب کرده و سوراخ‌های آن را مسدود می‌کنند. بهتر است هرازچند گاهی لوله تزریق مورد بازبینی قرار گیرد و در صورت لزوم تمیز گردد.

محاسبه بخار مورد نیاز

حداکثر بخار مورد نیاز تانک پیش گرم بویلر در زمان راه‌اندازی اتفاق می‌افتد. زیرا در این زمان

حداکثر اختلاف درجه حرارت آب وجود دارد. بخار تزریق شده باید توان تامین انرژی مورد نیاز جهت بالا بردن دمای آب و مخزن فولادی و اتلافات حرارتی را داشته باشد.

انرژی مورد نیاز برای گرمایش آب را می‌تواند از رابطه Q=MCΔT محاسبه نمود.

تزریق بخار به داخل مخزن سبب کندانس شدن بخار و انتقال گرمای‌نهان تبخیر(h_{fg}) به آب می‌شود. چنانچه دمای نهایی آب کمتر از۱۰۰°C(۲۱۲°F) باشد بخشی از انرژی آب ۱۰۰ °C به آب در دمای تانک منتقل می‌شود. بنابراین انرژی قابل ارائه بخار را می‌توان از کسر آنتالپی (hg) بخار ورودی به تانک از آنتالپی آب مخزن بدست آورد.

تمرین

مطلوبست محاسبه بخار مورد نیاز برای گرم کردن ۵۰۰۰ آب ۵ °C به۷۰°C چنانچه فشار بخار وردی به تانک از ۶bar به ۱bar شکسته شده باشد.

حل:

Q=MCΔT

۵۰۰۰×۴/۱۹×۶۵=۱۳۶۱۷۵۰kj

آنتالپی آب در دمای ۷۰ °C معادل: کیلوژول۲۹۳/۳=۴/۱۹×۷۰

آنتالپی بخار ۱bar معادل بخار ۶ bar برابر۲۷۵۵کیلوژول بر کیلوگرم

انرژی مازاد معادل:

۲۷۵۵-۲۹۳/۳=۲۴۶۱/۷

۱۳۶۱۷۵۰÷۲۴۶۱/۷=۵۳۳/۱۷kg

از تقسیم عدد بدست آمده بر زمان می‌توان بخار مورد نیاز در ساعت را بدست آورد.

اما همانطور که پیش‌تر گفتیم بخار تزریق شده علاوه بر آب داخل مخزن می‌بایست توان تامین انرژی مورد نیاز جهت بالا بردن دمای مخزن فولادی و غلبه بر اتلافات حرارتی را نیز داشته باشد.

انرژی مورد نیاز گرم کردن مخزن را نیز می‌توان محاسبه نمود و به عدد فوق افزود اما به عنوان محاسبه سر انگشتی و نسبتاً دقیق بخار مورد نیاز برای گرمایش آب با ضریب اطمینان ۱۵٪ می‌تواند برای تامین انرژی مورد نیازگرمایش تانک و اتلافات کفایت کند.

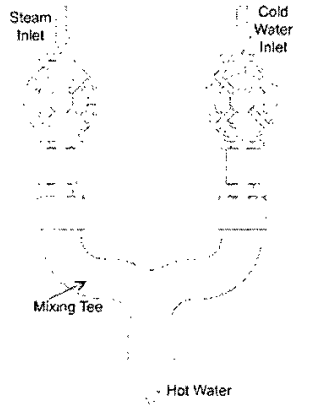
این بخار محاسبه شده مربوط به زمان راه‌اندازی می‌باشد و در حین کار ترموستات با حداکثر اختلاف دمای ۵ °C اقدام به باز و بسته کردن شیر کنترل می‌کند و در نتیجه به بخار بسیار کمتری نیاز است.

تامین آب‌گرم فوری

سه‌راهی میکس[1]

همانطور که از نام آن پیداست یک سه‌راهی است که بخار و آب در آن میکس می‌شوند. این روش یک اقدام فوری در تولید آب‌گرم است که می‌تواند به‌صورت دستی و یا اتوماتیک عمل کند.در حالت دستی مشابه شکل۱۳-۱۰۹ ورود بخار و آب هردو با شیردستی کنترل شده و اپراتور بنابر دبی و دمای آب‌گرم مورد نیاز خود میزان تزریق بخار به آب را کم و یا زیاد می‌کند. در سیستم اتوماتیک دمای آب مصرفی توسط شیر موتوری و ترموستات کنترل می‌شود.

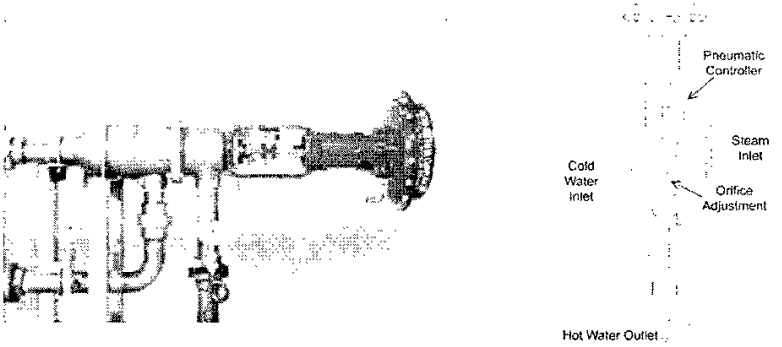
1- Manual Mixing Tee



شکل ۱۳-۱۰۹: شماتیک سه‌راهی میکس

شیر تزریق ونچوری[1]

از دیگر روش‌های تامین آب‌گرم فوری می‌توان به شیر تزریق بخار ونچوری اشاره نمود. این شیرها همانطور که از نام آنها پیداست به کمک پدیده ونچوری و ایجاد نقطه مکش منفی بخار را به داخل آب هدایت کرده و دمای آب را بالا می‌برند. با افزایش دما به میزان دلخواه کنترلر نئوماتیکی مسیر بخار را مسدود می‌کند و با پایین آمدن دما مجدداً می‌گشاید.

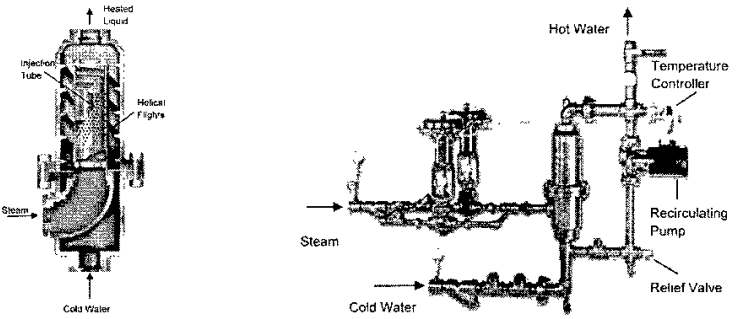


شکل ۱۳-۱۱۰: شماتیک و واقعی شیر تزریق بخار ونچوری

سیستم تزریق بخار دوبل[2]

این سیستم بهترین راه حل برای تامین آب‌گرم فوری است. در این روش یک محفظه بخار وجود دارد که در آن عمل تزریق بخار به آب صورت می‌گیرد. در داخل این محفظه یک تیوب تزریق با صدها سوراخ ریز وجود دارد که از طریق آن حباب‌های بسیار ریز بخار وارد آب می‌شوند و در پایین مجهز به شیر یک‌طرفه است. کنترل بخار ورودی در این روش توسط دو شیر نئوماتیکی صورت می‌گیرد که یکی از آنها بزرگتر از دیگری است. بدین ترتیب در رنج وسیعی از جریان می‌تواند آب‌گرم تامین نماید.

1- Venturi Steam Injection
2- Dual Modulating Steam Injection Control System



شکل ۱۳-۱۱۱: سیستم تزریق بخار دوبل

کاربرد این سیستم بیشتر در مصارف شست‌وشوی نظیر شست‌وشوی CIP، کارواش‌ها، شست‌وشوی مخازن پشت تریلرها، شست‌وشوی مخازن ذخیره و تامین آب‌گرم خطوط تریسینگ است.

بخار برای استریل کردن

در مراکز پزشکی و درمانی تجهیزات فراوانی جهت استریل کردن وجود دارد که از آن جمله می‌توان به استریلیزاسیون با بخار(گرمای مرطوب)، با هوای خشک(گرمای خشک)، اتیلن اکساید و روش پلاسما اشاره نمود.

از آنجاییکه دمای بخار با کنترل فشار آن قابل کنترل است و بخار به نوبه خود تمیز بوده و همچنین به ابزارآلات آسیب چندانی نمی‌زند اتوکلاو بخار به عنوان پرمصرف‌ترین دستگاه استریلیزاسیون در آزمایشگاه‌های میکروبیولوژی، مراکز بهداشتی و... استفاده می‌شود .

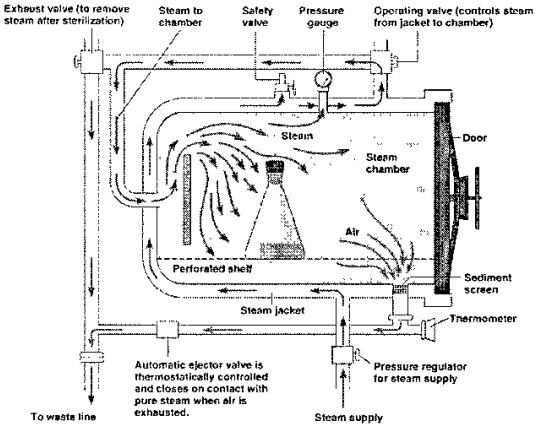
این وسیله توسط میکروبیولوژیست فرانسوی به نام چارلز چمبرلن در سال۱۸۷۹اختراع شد. واژه اتوکلاو، از ترکیب دو واژه(اتو) از زبان یونانی به معنی خودکار و کلاویس از زبان لاتین به معنی (کلید) تشکیل شده است. اتوکلاو و علوم آزمایشگاهی دو جزء جدا نشدنی از هم هستند. اکثر اتوکلاوها در دو محدوده عمل می‌کنند:

الف- محدوده پائین ۲۵۴-۲۵۰ درجه فارنهایت معادل۱۲۳-۱۲۱ درجه سانتی‌گراد

ب- محدوده بالا ۲۷۴-۲۷۰ درجه فارنهایت معادل ۱۳۴-۱۳۲ درجه سانتی‌گراد

اثر بخشی اتوکلاو بستگی به زمان، دما و کیفیت بخار و مسیر تماس بخار با مواد عفونی دارد. از این رو کیفیت بخار وارد شده به اتوکلاو بسیار مهم است و می‌بایست بخار کاملاً خشک و در فشار صحیح وارد محفظه اتوکلاو شود. بنابراین باید با نصب مدار سپریتور فشارشکن و شیر اطمینان از خشک بودن بخار و فشار صحیح آن اطمینان حاصل نمود. در غیر این صورت بخار مرطوب سبب ایجاد لک بر روی تجهیزاتی می‌شود که قرار است استریل گردد. از طرف‌دیگر وجود هوا در داخل اتوکلاو سبب می‌شود بخار به تمامی نقاط اقلام داخل محفظه نرسیده و استریلیزاسیون به شکل صحیح انجام نشود. علت آن این است که هوای گرم در مقایسه با بخار به مدت زمان بیشتری برای استریل کردن نیاز دارد. برای مثال: بخار در دمای ۱۳۴ درجه سانتی‌گراد به۳ دقیقه وقت برای استریل کردن مواد نیاز دارد در حالی که هوای گرم۱۶۰ درجه سانتی‌گراد در همان شرایط به دو ساعت وقت نیاز دارد. در دستگاه‌های اتوکلاو اتوماتیک پمپ خلاء در آغاز مراحل استریلیزاسیون با ایجاد مکش، هوای داخل محفظه را تخلیه کرده و سپس بخار وارد دستگاه می‌شود. اما در دستگاه‌های دستی برای استریل کردن کامل و موثر و همچنین جهت عملکرد صحیح اتوکلاو می‌بایست اقلام به گونه‌ای در داخل اتوکلاو قرار گیرد که بخار به تمامی

نقاط آن برسد. ظروف شیشه‌ای باید روی کناره خود قرار داده شوند تا هوا بتواند جای خود را با بخار عوض کند. همچنین نصب ایرونت ترموستاتیک بر روی اتوکلاو الزامی است.



شکل ۱۳-۱۱۲: شماتیک چرخه بخار و کندانس در اتوکلاو

چه موادی می‌تواند اتوکلاو شود؟

به طور کلی تمام مواد غیرعفونی و عفونی آلوده شده با عوامل بیولوژیک شامل بقایای نمونه‌های محیط کشت تلقیح شده، پاتوژن‌های رشد کرده، سلول‌های انسانی، حیوانی و گیاهی، مواد آلوده شده به مدفوع انسان یا حیوان، محصولات خونی انسان و حیوان، ..... می‌توانند اتوکلاو شوند.

چه موادی را نمی‌توان اتوکلاو کرد؟

موادی مثل داروهای سرطان زا، رادیوایزوتوپها، مواد شیمیایی سمی، مواد شیمیایی قابل تبخیر یا هر ماده خطرناکی که ممکن است در اثر حرارت تبخیر شود و انتشار یابد را نمی‌توان اتوکلاو کرد. به طور کلی مواد قابل اشتعال، واکنش‌پذیر خورنده و مواد رادیو اکتیو نباید اتوکلاو شوند.

مواد زائد اتوکلاو شده چگونه دفع می‌شوند؟

مایعات عفونی که اتوکلاو شده‌اند را می‌توان در سیستم فاضلاب ریخت. نصب صافی قبل از تله‌بخار اتوکلاو برای‌جلوگیری ورود ذرات به تله الزامی است.تله‌بخار مناسب برای اتوکلاوها تله‌بخار ترموستاتیک است و فقط در اتوکلاوهای بزرگ و صنعتی استفاده از تله‌بخار با عملکرد مکانیکی (فلوتری یا سطلی معکوس) با ضریب اطمینان ۳ توصیه می‌شود.

محاسبه بار کندانس

بار کندانس محفظه اتوکلاو را می‌توان از رابطه۱۳-۱۷ محاسبه نمود:

$$M = \frac{W \times C \times \Delta T}{H \times t} \qquad (۱۳-۱۷)$$

که در آن:

M:بار کندانس(lb/hr)

W:وزن اتوکلاو شونده(lb)

Cp:گرمای‌ویژه فرآورده

ΔT:افزایش دما(فارنهایت)

H:گرمای‌نهان تبخیر(Btu/lb)
T:زمان(ساعت)

چیلر جذبی[1]

در سیستم‌های جذبی از کمپرسور گرمایی (شامل ژنراتور، ابزربر، پمپ و مبدل حرارتی) برای جوشش مبرد در محوطه‌ای از محلول لیتیم بروماید و فشرده سازی بخار مبرد در فشار بالا استفاده می‌شود. افزایش فشار مبرد، دمای تراکم را نیز افزایش می‌دهد و این یعنی بخار مبرد در دما و فشار بالاتر به مایع تبدیل می‌شود. از آنجاییکه دمای تراکم بیشتر از دمای محیط است، حرارت از کندانسور به محیط منتقل می‌شود. مایع فشار بالا پس از عبور از یک دریچه فشارش تقلیل می‌یابد و با ادامه روند کاهش فشار نقطه جوش پایین می‌آید. سپس این مایع فشار پایین وارد اواپراتور شده و می‌جوشد. از آنجاییکه دمای جوش اکنون پایین‌تر از دمای هوا است، حرارت از هوا به مبرد منتقل شده و مبرد می‌جوشد و خود هوا خنک می‌شود.

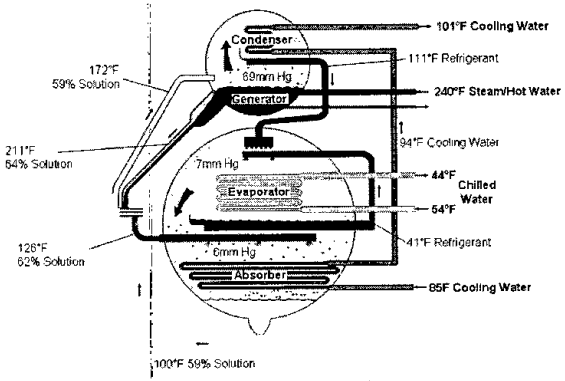
بخار مبرد دوباره وارد ابزربر شده و در آنجا توسط لیتیم بروماید حرارتش گرفته و کندانس می‌گردد. لیتیم بروماید با جذب حرارت رقیق شده و به ژنراتور پمپ می‌شود؛ از آنجاییکه این محلول نمی‌جوشد با افزودن حرارت، بخشی از محلول بخار شده و به راحتی از آن جدا شده و لیتیم بروماید خالص مجدد وارد ابزربر می‌شود و این روند همواره تکرار می‌گردد.

چیلرهای جذبی را براساس نوع دریافت گرمای مورد نیاز خود می‌توان به سه دسته کلی تقسیم‌بندی نمود:

۱- شعله مستقیم: گرمای مورد نیاز سیکل چیلرجذبی به کمک گازهای ناشی از احتراق(گاز، گازوئیل) تامین می‌شود.

۲- آب‌داغ: گرمای مورد نیاز سیکل چیلر جذبی به کمک گردش آب‌داغ تولید شده در دیگ آب‌گرم تامین می‌شود.

۳- بخار: گرمای مورد نیاز سیکل چیلر جذبی به کمک گرمای‌نهان تبخیر(hfg) تامین می‌شود.



شکل ۱۳-۱۱۳: سیکل چیلر جذبی

1- Absorbtion Chiller

بخار مورد نیاز چیلر جذبی براساس نوع عملکرد آنها متفاوت است. در چیلرهای جذبی تک‌اثره فشار بخار مورد نیاز حداکثر۱bar (۱۵psi) است. این نوع از چیلرها برای تامین انرژی گرمای سیکل تبرید به ازاء هر تن تبرید قریب به(۱۸lb-۲۰) بخار نیاز دارند.

در چیلرهای جذبی دو اثره فشار بخار مورد نیاز حداکثر۱۰bar(۱۵۰psi) است. این نوع از چیلرها برای تامین انرژی گرمای سیکل تبرید به ازاء هر تن تبرید غریب به(۱۰lb-۱۲) بخار نیاز دارند.

احتیاج به بخار کمتر در چیلرهای تک اثره یک حسن محسوب می‌شود. اما باید به این نکته نیز توجه کرد که فشار بالای بخار ورودی به چیلر سبب ایجاد حجم زیادی بخار فلش بعد از تله‌بخار می‌شود که به دلیل عدم امکان نصب سیستم کندانس تحت فشار برای چیلرهای‌جذبی می‌بایست به‌اتمسفر تخلیه گردد.

نکته مهم در ارتباط با چیلرهای تک اثره بخار سوپرهیت است. در دیگ‌خانه‌هایی که بخار با فشار بالا تولید می‌شود تقلیل فشار بخار ورودی به چیلر سبب سوپرهیت شدن بخار می‌شود. برای جلوگیری از آسیب رسیدن به چیلر می‌بایست با نصب دی سوپرهیتر از ورود بخار سوپرهیت به چیلر جلوگیری نمود.

تله‌بخار فلوتری با ایرونت اتوماتیک همواره بهترین انتخاب برای چیلرهای جذبی است. انتخاب دوم تله‌بخار سطلی معکوس با نصب ایرونت موازی است. ضریب اطمینان برای چیلرهای تک اثره ۲ و برای چیلرهای دو اثره ۳ در نظر گرفته می‌شود. در مواردی که کندانس چیلر زیاد است می‌توان با نصب دو و یا سه تله‌بخار موازی اقدام به تخلیه کندانس نمود. چنانچه دیگ‌خانه مجهز به چند چیلر است هر چیلر باید تله‌بخار مجزا داشته باشد و استفاده از تله‌بخار مشترک به هیچ عنوان مجاز نیست.

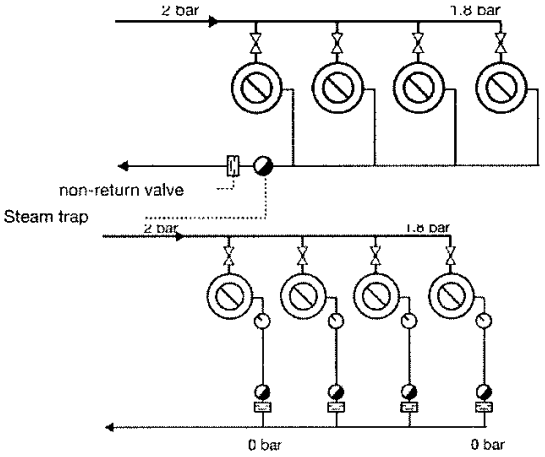
نکات اجرایی تله‌بخار

تله‌بخار مشترک

شاید مهم‌ترین دلیلی که از تله‌بخار مشترک استفاده می‌شود کاهش هزینه است. این در حالی است که استفاده از تله‌بخار مشترک سبب افزایش سایز شده و استفاده از تله‌بخار بزرگ بعضاً گران‌تر از استفاده از چند تله‌بخار کوچک است. از طرف دیگر در صورت بروز اشکال در تله‌بخار مشترک کل تجهیزات مصرف‌کننده بخار از کار خواهد افتاد.

همانطور که گفتیم تله‌بخار آخرین نقطه حضور بخار زنده است بنابراین چنانچه تله درست عمل نماید در حضور بخار تله بسته است. همین مساله کلید نصب تله‌بخار مشترک است.

الف)در تجهیزاتی که فشار بخار متفاوتی دارند نصب تله‌بخار مشترک سبب می‌شود که کندانس مصرف کننده‌های با فشار بالاتر به تله رسیده و تخلیه شود. سپس بخار این مصرف‌کننده به تله رسیده و تله بسته می‌شود. در این میان کندانس سایر تجهیزات در آنها باقی مانده و سبب کاهش راندمان انتقال حرارت، خوردگی و ضربه‌قوچ می‌گردد.

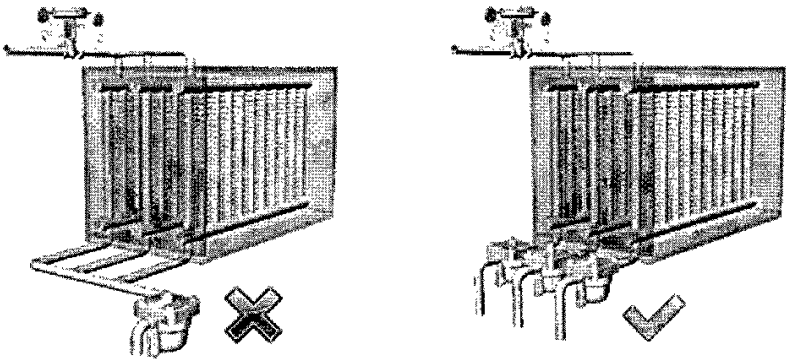


فشار بالاتر در تجهیز اول سبب می‌شود بخار زنده به پشت تله برسد و کندانس در سایر تجهیزات محبوس شود

نصب تله‌بخار مجزا سبب می‌شود تخلیه کندانس به شکل کامل و صحیح صورت گیرد.

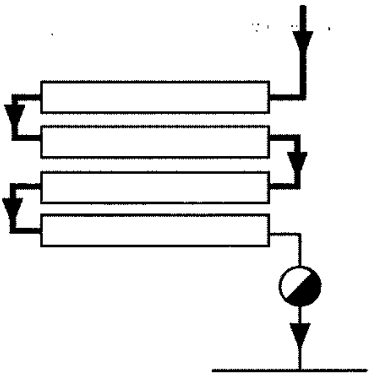
شکل ۱۳-۱۱۴: سیکل چیلر جذبی

ب) در تجهیزاتی که شیر کنترل مشترک دارند و از فشار بخار یکسان بهره می‌برند مانند کوئل‌های بخار (شکل۱۳-۱۱۵) امکان دارد میزان تولید کندانس در همه کوئل‌ها یکسان نباشد. در این شرایط چنانچه یکی از کوئل‌ها کندانس کمتری داشته باشد و در نتیجه فشار بیشتری در خروجی داشته باشد (معمولاً کوئل آخر) اجازه حرکت کندانس سایر کوئل‌ها به سمت تله را نمی‌دهد. در این شرایط کندانس کوئل آخر با فشار بالاتر به تله رسیده و تخلیه می‌شود. سپس بخار این کوئل به تله رسیده و تله بسته می‌شود. در این میان کندانس سایر کوئل‌ها در آنها باقی مانده و سبب کاهش راندمان انتقال حرارت، خوردگی و ضربه‌قوچ می‌گردد.



شکل ۱۳-۱۱۵: نصب تله‌بخار مشترک

شاید بتوان پرس‌های سری کوچک را یکی از معدود نقاطی نامید که می‌توان از تله‌بخار مشترک استفاده نمود. در این پرس‌ها می‌توان با گذراندن بخار به صورت سری از پرس با نصب تله‌بخار مشترک کندانس را بدون هیچ مشکلی تخلیه نمود.



شکل ۱۱۳-۱۱۶: نصب تله‌بخار مشترک

تخلیه به اتمسفر

زمانی که قرار است تخلیه تله به سیستم کندانس برنگردد مانند تله‌بخار زیر کلکتور و یا زیر سپریتور بعد از شیر اصلی دیگ‌بخار باید دقت نمود این کندانس به نقطهٔ امنی هدایت شود زیرا اختلاف فشار زیاد بین خط اصلی و فضای اتمسفر بخار فلش زیادی را تولید خواهد کرد. حال چنانچه تخلیه به نقاطی صورت گیرد که افراد از آنجا عبور می‌کنند و یا پرسنل دیگ‌خانه در آنجا حاضراند بخار فلش می‌تواند سبب ایجاد سوختگی شدیدی شود. به خصوص در تله‌هایی که عملکرد متناوب داشته و به یک باره کندانس را با سرعت زیاد تخلیه می‌کنند. یکی از بهترین نقاط برای تخلیه این کندانس پیت بتونی سیستم زیرآب است.

صافی

نصب صافی قبل از تله‌بخار را می‌توان یک ضرورت دانست. البته تله‌بخارهای ترمودینامیکی به‌دلیل آنکه در مقابل آلودگی عملکردشان دچار اختلال می‌شود اصولاً توسط سازندگان مجهز به صافی توکار هستند و نیازی به نصب صافی جداگانه نیست. اما برای دیگر تله‌های بخار به غیر از تله‌های زیر تانک فلش سیستم بلودان نصب صافی جداگانه الزامی است.

صافی‌ها قیمت بالایی ندارند و می‌توانند از صدمه به تله و بروز خرابی در آن جلوگیری کنند. بنابراین حذف صافی به‌دلیل صرفه‌جویی در هزینه عملاً سبب خرابی تله و بروز خسارت بیشتری از مبلغ صرفه‌جویی شده می‌گردد.

شیر یک‌طرفه

در مواردی که امکان فشار برگشت بر روی تله‌بخار وجود دارد نصب یک شیر یک‌طرفه کمک خوبی برای تله خواهد بود. این اتفاق به خصوص در نقاطی از سیستم می‌افتد که سیستم مجهز به شیر کنترل باشد. زمانی که شیر کنترل، بخار ورودی را قطع می‌کند و کندانس شدن بخار موجود در تجهیز سبب ایجاد خلاء و در نتیجه منفی شدن Δp تله می‌شود بدین ترتیب به جای آنکه آب از تجهیز خارج شود آب خارج شده به داخل تجهیز بر می‌گردد.

پدیده Stallیا Banking upدقیقاً در هیمن شرایط است که در آن Δp تله صفر و یا منفی می‌گردد.

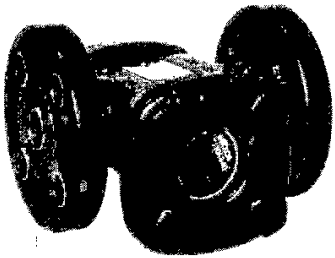
شیرگلاب

برای آنکه بتوان در صورت بروز اشکال در تله به سادگی بتوانیم آن‌را از روی خط جدا کنیم لازم است قبل و بعد از آن شیر نصب نماییم. البته برای تله‌های بخار تخلیه به اتمسفر به شیر بعد از تله احتیاجی نیست. همچنین می‌توان با نصب یک شیر در کنار تله مدار بای‌پس ایجاد نمود و از آن برای هواگیری اولیه در زمان استارت و یا تخلیه کندانس در شرایط اضطراری کمک گرفت.

در نصب مدار بای‌پس برای تله‌بخار باید به این نکته توجه نمود که در صورت بروز نشتی از شیر بای‌پس در حالت بسته اختلاف فشار دو سر تله تغییر کرده و عملکرد تله دچار اختلال می‌شود.

شیشه دید

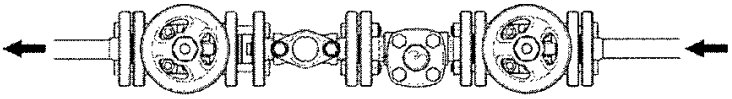
شیشه دید وسیله‌ای است که اپراتور به کمک آن می‌تواند داخل لوله را مشاهده نماید. بدین ترتیب می‌تواند از جریان و یا عدم جریان آب اطمینان حاصل نماید. شیشه‌های دید می‌توانند تک شیشه و یا دوشیشه و یا چند شیشه باشند.



شکل ۱۳-۱۱۷: شیشه دید نوع *vaposcope* ساخت *GESTRA*

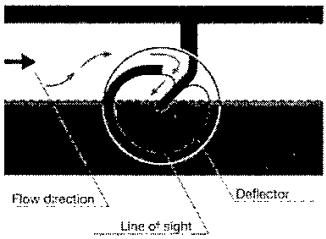
اما سوال اساسی در مورد نصب شیشه دید برای تله‌های بخار آن است که نصب شیشه دید قبل از تله بهتر است یا بعد از تله؟

از آنجاییکه بعد از تله فشار همواره کمتر از قبل از تله بوده و اکثراً فشاری برابر اتمسفر است به شیشه دید با ضخامت کمتری احتیاج است و ایمنی آن نیز بالاتر خواهد بود. این امر به خصوص در خطوط بخار فشار قوی بسیار حائز اهمیت است. اما نکته مهم حضور بخار فلش بعد از تله‌بخار است. اساساً در شرایط موتور خانه تشخیص بخار زنده از بخار فلش کار بسیار دشواری است. در نصب شیشه دید بعد از تله به غیر از تله‌های ترمودینامیکی که به علت تخلیه حجم زیادی از کندانس به یک‌باره می‌بایست شیشه دید را در فاصله یک متری از تله نصب کرد در سایر انواع تله‌بخار شیشه دید را می‌توان دقیقاً بعد از تله نصب نمود.



شکل ۱۳-۱۱۸: شماتیک نصب شیشه دید(*vaposcope*) قبل از تله

اما قبل از تله فشار بالاتر بوده و به شیشه دید با قابلیت تحمل فشار بالاتری نیاز است. اما در عوض قبل از تله، بخار فلش وجود نداشته و قابلیت دید در آن بهتر است. شکل ۱۳-۱۱۹مراحل عملکرد شیشه دید ساخت گسترا را نمایش می‌دهد.



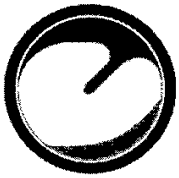
این نوع شیشه دید مجهز به یک تیغه منحرف‌کننده است. این تیغه جریان سیال را مجبور به تغییر مسیر دادن می‌کند و در نتیجه آب تا سطح نرمال داخل vaposcope بالا می‌آید.

اما چنانچه تله صحیح عمل نکند و یا فشار برگشت مانع از تخلیه کندانس شود پدیده stall یا banking up موجب جمع شدن کندانس شده و آب کل محفظه را می‌گیرد و ممکن است کل تجهیز مصرف‌کننده نیز مملو از کندانس شده باشد. در تجهیزات حساس یک شیشه دید مجزا در خروجی تجهیز قرار می‌دهند تا اپراتور با بررسی آن وضعیت banking up را چک نماید.

اما اگر تله‌بخار، بخار زنده را از خود عبور دهد تیغه داخل vaposcope سبب می‌شود آب در داخل محفظه به پایین‌ترین سطح خود برسد.اپراتور با دیدن این صحنه متوجه عبور بخار زنده از تله خواهد شد. ورود بخار زنده با فشار بالا به سیستم کندانس علاوه بر اتلاف انرژی می‌تواند به بروز ضربه‌قوچ بی‌انجامد.

Normal service condition

Banking-up of condensate



Loss of live steam

شکل ۱۳-۱۱۹: مراحل عملکرد شیشه دید *vaposcope*

پمپ تله اتوماتیک[1]

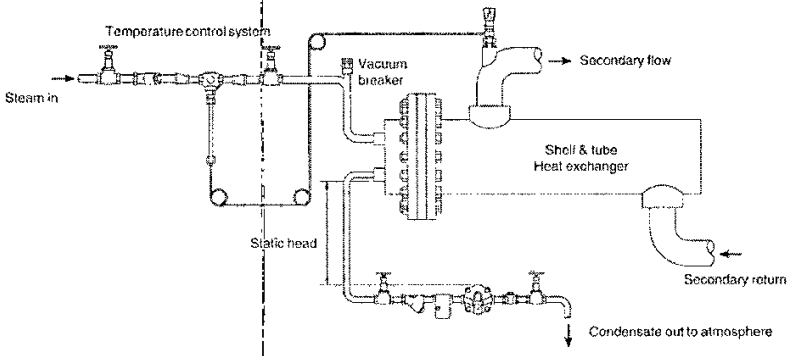
همانطور که گفتیم تله‌های بخار در شرایط Δp صفر و یا منفی از کار می‌افتند و عملاً نمی‌توانند کندانس را از تجهیز مصرف‌کننده بخار خارج نمایند. این پدیده اصطلاحاً پدیده Stall یا Banking up نام دارد و در تجهیزاتی رخ می‌دهد که مجهز به شیر کنترل بخار هستند.

برای مثال یک مبدل پوسته و لوله را در نظر بگیرید که خط کندانس رو به بالا دارد در شرایط عادی تله‌بخار مبدل به کمک فشار بخار توانایی انتقال کندانس رو به بالا را دارد. حال چنانچه با افزایش دمای سیال

1- Automatic Pump Trap

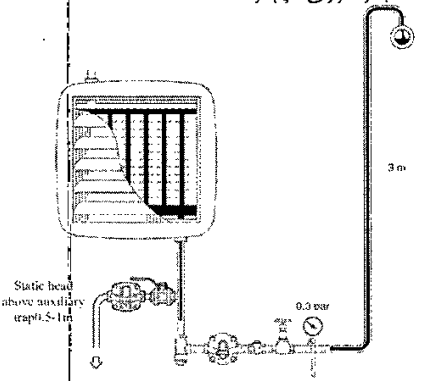
ثانویه ترموستات شیر کنترل را ببندد، با قطع بخار ورودی به مبدل و کندانس شدن بخار موجود، ذره ذره فشار کم شده و یا حتی در صورت عدم وجود خلاء شکن منفی می‌شود. در این شرایط با صفر و یا منفی شدن Δp تخلیه کندانس قطع می‌شود و در صورت عدم نصب شیر یک‌طرفه کندانس‌های تخلیه شده قبلی نیز به داخل مبدل باز می‌گردند. عدم تخلیه کندانس از مبدل سبب ایجاد خوردگی و کاهش ضریب انتقال حرارت آن می‌شود. در این شرایط باز شدن شیر کنترل و ورود بخار پر فشار به داخل مبدل سبب ایجاد ضربه‌قوچ می‌شود و از طرف دیگر کاهش ضریب انتقال حرارت مبدل سبب می‌شود دمای خروجی سیال ثانویه از نقطه تنظیمی خارج شود. برای جلوگیری از این پدیده سه راهکار اصلی پیش رو است:

۱) استفاده از فشار ستون آب: فشار استاتیک آب ناشی از کندانس یکی از بهترین روش‌ها برای جلوگیری از Banking up است. در این روش می‌توان با نصب خلاءشکن و نصب لوله صاف عمودی قبل از تله به ارتفاع نیم تا یک متر از فشار استاتیک ستون آب بهره جست و کندانس را تخلیه نمود.



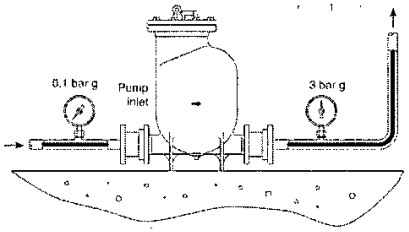
شکل ۱۳-۱۲۰: شماتیک ایجاد استاتیک هد قبل از تله

۲) استفاده از تله‌بخار کمکی: تله‌بخار کمکی، تله‌بخاری است که تخلیه کندانس آن به خط کندانس برگشتی نبوده و در نتیجه فشار بعد از آن فشار اتمسفر است. چنانچه تله‌بخار اصلی توان تخلیه کندانس را نداشته باشد تله‌بخار کمکی کندانس را به فاضلاب تخلیه می‌کند. این روش در جلوگیری از Banking up موثر است اما سبب اتلاف آب و انرژی می‌گردد.



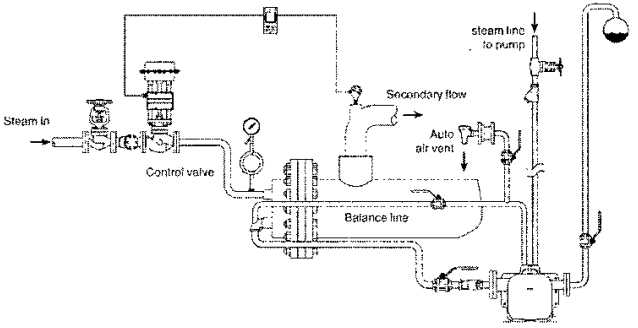
شکل ۱۳-۱۲۱: شماتیک نصب تله‌بخار کمکی

۳) نصب پمپ تله اتوماتیک[1]: پمپ تله اتوماتیک قادر است کندانس باΔp منفی را به ارتفاع بالاتر هدایت نماید.



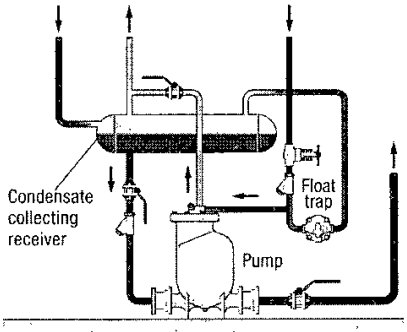
شکل ۱۳-۱۲۱: پمپ تله اتوماتیک

پمپ تله اتوماتیک شبیه به تله‌بخار فلوتری بوده مجهز به یک گوی در داخل یک کوزه می‌باشد. تله در ورود و خروج مجهز به شیر یک‌طرفه بوده و در بالا یک ورودی و یک خروجی برای هوای فشرده و یا بخار دارد .خروج کندانس از تله به کمک نیروی همین هوای فشرده و یا بخار زنده صورت می‌گیرد. شکل۱۳-۱۲۴ مراحل عملکرد پمپ تله اتوماتیک را نشان می‌دهد.



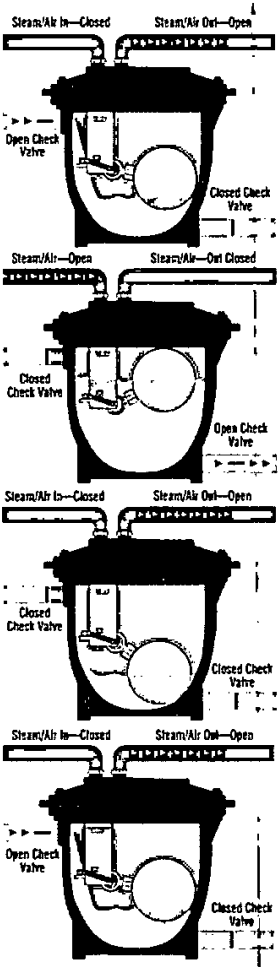
شکل ۱۳-۱۲۲: شماتیک پمپ تله اتوماتیک

پمپ تله اتوماتیک می‌تواند مستقیماً زیر تجهیز مصرف‌کننده بخار نصب شده و یا به مخزن کلکتور خطوط کندانس متصل و کندانس چند تجهیز را به ارتفاع بالاتر هدایت نماید.



شکل ۱۳-۱۲۳: شماتیک اتصال پمپ تله اتوماتیک

1- Automatic Pump Trap(APT)



۱- شیر یک‌طرفه ورودی باز بوده و فشار معکوس خط کندانس سبب بسته بودن شیر یک‌طرفه خروجی می‌شود. در این شرایط مسیر خروجی بالای تله برای خروج هوا و یا بخار اضافی باز است.

۲- باگذشت زمان کندانس در داخل کوزه جمع شده و گوی را بالا می‌برد. با بالا رفتن گوی اهرم متصل به آن، مسیر خروجی هوا/بخار را بسته و مسیر ورودی را می‌گشاید.

۳- فشار بخار پشت کندانس سبب غلبه بر فشار پشت شیر یک‌طرفه خروجی شده و در نتیجه کندانس تخلیه می‌گردد. با افتادن گوی مسیر ورودی هوا/بخار بسته شده و مسیر خروجی گشوده می‌شود.

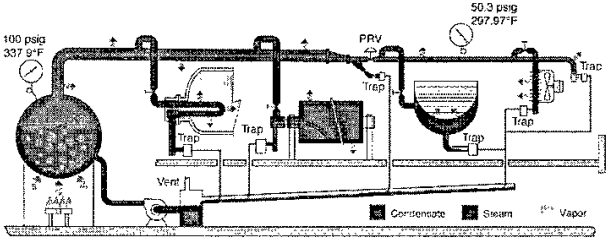
۴- با خروج بخار و یا هوای موجود دا داخل کوزه فشار داخل کوزه کم شده و شیر یک‌طرفه ورودی کندانس به پمپ تله اتوماتیک مجدداً گشوده می‌شود.

شکل ۱۳-۱۲۴: مراحل عملکرد پمپ تله اتوماتیک[1]

[1] . فیلم آموزشی ۱۳-۱۹ را ببینید

فصل ۱۴
کندانس[1]

بخار پس از انتقال انرژی خود (انرژی نهان تبخیر در فشار مصرف کننده) از فاز گازی (بخار) به فاز مایع (آب) تبدیل می‌شود. آب ناشی از این میعان، آب کندانس (چگالیده) نام دارد و توسط تله‌های بخار از تجهیزات مصرف‌کننده تخلیه می‌شود. شکل۱۴-۱ شماتیک چرخه بخار و کندانس را نشان می‌دهد.



شکل۱۴-۱: شماتیک چرخه بخار و کندانس

آب ناشی از کندانس دمایی برابر دمای آب اشباع در فشار سیستم کندانس را دارد که در سیستم‌های مجهز به ونت، برابر دمای جوش آب در فشار اتمسفر و معادل ۱۰۰°C (۲۱۲°F) است. بهترین راه برای بازگرداندن کندانس سیستم ثقلی است. در این سیستم آب ناشی از کندانس به صورت ثقلی به سمت تانک کندانس دفن شده در زیر زمین منتقل می‌شود. اما چنانچه به هر دلیل احتیاج به حرکت کندانس رو به بالا باشد باید برای آن تمهیداتی اندیشید.

دلایل باز گرداندن آب ناشی از کندانس

باز گرداندن کندانس مزایای زیادی دارد که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- صرفه‌جویی در مصرف سوخت و انرژی
- صرفه‌جویی در مصرف آب
- صرفه‌جویی در مصرف مواد شیمیایی
- صرفه‌جویی در هزینه‌های فاضلاب
- کاهش آلودگی هوا

1- Condensate

صرفه‌جویی در انرژی

اولین و مهم‌ترین دلیل بازگرداندن کندانس به چرخه تولید بخار انرژی موجود در آن است. همانطور که گفتیم بخار پس از انتقال گرمای‌نهان تبخیر، به آب اشباع در همان دما تبدیل می‌شود بنابراین میزان زیادی انرژی همچنان در آن نهفته است. کندانس می‌تواند بنابر فشار بخار خروجی بویلر بعضاً تا ۱۶٪ از کل انرژی موجود در بخار را بازگرداند.

تمرین:

مطلوبست محاسبه انرژی بازیافت شده از کندانس در دیگ‌خانه بخار با ۷۰۰۰ ساعت کارکرد در طول یک سال با قیمت هر MMBTU معادل ۵$

چنانچه :

میزان تولید بخار ۲۲۵۰۰lb/hr باشد

فشار بخار ۱۵۰ psi

دمای آب ورودی به دیگ‌خانه ۵۵°F (۱۳°C) و دمای کندانس ۱۰۰ °C(212°F)

میزان بازگشت کندانس ۸۰ ٪

حل:

۲۲۵۰۰×۰/۸×۷۰۰۰=۱۲۶,۰۰۰,۰۰۰ Lbs

انرژی آب در ۱۰۰ °C(۲۱۲°F)معادل ۱۸۰/۳ BTU/Lbs و در ۵۵°F معادل ۲۳ BTU/Lbs

۱۸۰/۳-۲۳=۱۵۷/۳ BTU/Lbs

۱۲۶,۰۰۰,۰۰۰×۱۵۷/۳= ۱۹,۸۱۹,۸۰۰,۰۰۰BTU

۱۹,۸۱۹,۸۰۰,۰۰۰ ×۵ $/MBTU=۹۹۰۹۹ $/year

صرفه‌جویی در آب

همانطور که در تمرین فوق مشخص است حجم زیادی از آب سالانه به صورت کندانس قابل بازگشت به سیستم خواهد بود علاوه بر آن آب ناشی از کندانس آب مقطر است و باز گرداندن آن باعث کاهش TDS آب ورودی به بویلر شده و در نتیجه میزان بلودان را نیز به میزان قابل‌توجهی کاهش خواهد داد. این کاهش بلودان تواماً از اتلاف آب و انرژی نیز جلوگیری می‌کند.

صرفه‌جویی در مواد شیمیایی

در صورت استفاده از آب جبرانی به جای آب کندانس می‌بایست آب را از کلیه مراحل تصفیه داخلی و خارجی دیگ‌خانه عبور داد. اما آب ناشی از کندانس آب مقطر بوده و صرفاً باید جهت کنترل PH و اکسیژن باقیمانده در آن به آن مواد شیمیایی افزود و نیاز به تصفیه ندارد.

صرفه‌جویی در هزینه فاضلاب

در صورت عدم بازگشت کندانس انتقال آن به فاضلاب به علّت بالا بودن دما دارای پیچیدگی‌هایی خواهد بود و بنابر قوانین محلی احتیاج به خنک کردن آن تا دمای استاندارد جهت دفع فاضلاب خواهد بود که این امر خود به معنای هزینهٔ بیشتر است.

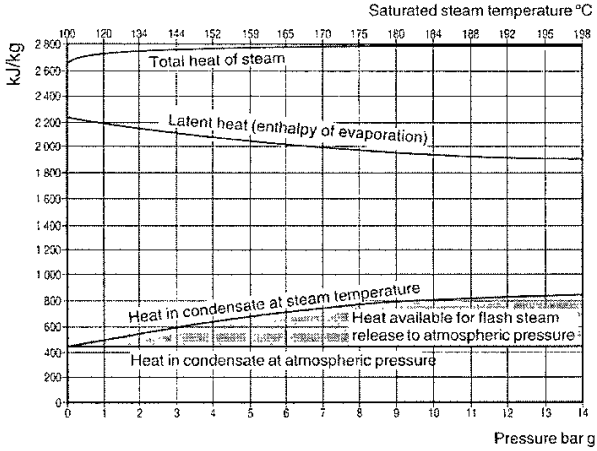
بخار فلش

آب ناشی از کندانس پس از عبور از تله از محدوده فشار بالا به محدوده فشار پایین وارد می‌شود. در نتیجه از آنجاییکه hf آب اشباع در فشار پایین‌تر کمتر از hf آب اشباع در فشار بالاتر است (انرژی مازاد وجود دارد) بخشی از کندانس به بخار فلش تبدیل خواهد شد.

جدول۱۴-۱: محاسبه درصد بخار فلش در اختلاف فشارهای مختلف

Steam Pressure before the Steam Trap *(psig)*	Condensate Pressure after the Trap *(psig)*										
	0	**2**	**5**	**10**	**15**	**20**	**30**	**40**	**60**	**80**	**100**
5	1.7	1									
10	2.9	2.2	1.4								
15	4	3.2	2.4	1.1							
20	4.9	4.2	3.4	2.1	1.1						
30	6.5	5.8	5	3.8	2.6	1.7					
40	7.8	7.1	6.4	5.1	4	3.1	1.3				
60	10	9.3	8.6	7.3	6.3	5.4	3.6	2.2			
80	11.7	11.1	10.3	9	8.1	7.1	5.5	4	1.9		
100	13.3	12.6	11.8	10.6	9.7	8.8	7	5.7	3.5	1.7	
125	14.8	14.2	13.4	12.2	11.3	10.3	8.6	7.7	5.2	3.4	1.8
160	16.8	16.2	15.4	14.1	13.2	12.4	10.6	9.5	7.4	5.6	4
200	18.6	18	17.3	16.1	15.2	14.3	12.8	11.5	9.3	7.5	5.9
250	20.6	20	19.3	18.1	17.2	16.3	17.7	13.6	11.2	9.8	8.2
300	22.7	21.8	21.1	19.9	19	18.2	16.7	15.4	13.4	11.8	10.1
350	24	23.3	22.6	21.6	20.5	19.8	18.3	17.2	15.1	13.5	11.9
400	25.3	24.7	24	22.9	22	21.1	19.7	18.5	16.5	15	13.4

حال هرچه این اختلاف فشار بیشتر باشد میزان بخار فلش ایجاد شده نیز بیشتر خواهد بود. از این رو است که می‌بایست به کمک فشارشکن بخار، فشار بخار ورودی به تجهیزات را کاهش داد و از کمترین فشار ممکن در تجهیزات استفاده نمود تا بدین ترتیب میزان بخار فلش را تا حد قابل قبولی پایین آورد.



شکل۱۴-۲: منحنی انرژی آب و بخار در فشارهای مختلف

سیستم کندانس

سیستم کندانس شامل تله‌های بخار، لوله‌های انتقال کندانس، مخازن کندانس، جدا کننده‌های بخار فلش و پمپ‌های الکتریکی و یا مکانیکی است. این سیستم می‌تواند به دو شکل اجرا گردد:

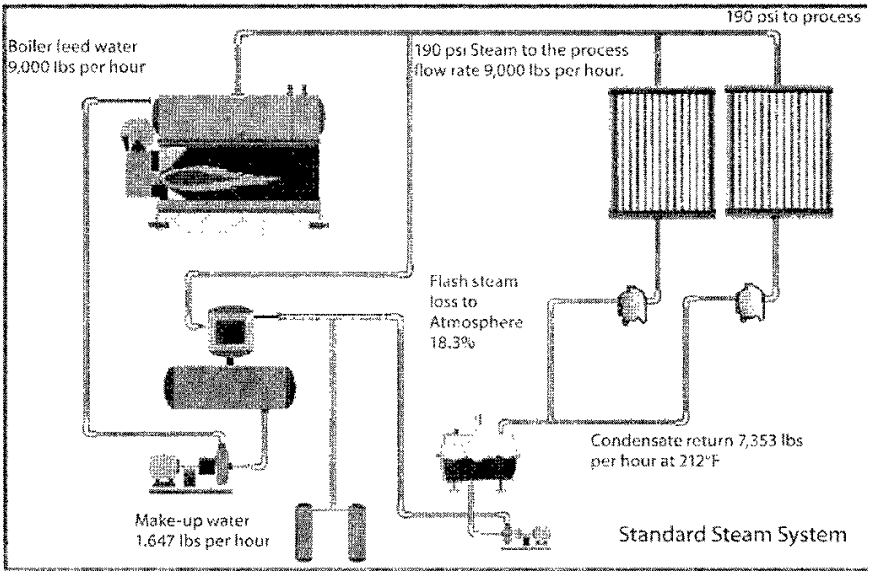
الف)سیستم باز[1] (ونت به اتمسفر)

ب)کندانس تحت فشار[2]

ونت به اتمسفر

در این سیستم کلیه بخار فلش ایجاد شده به کمک ونت به اتمسفر تخلیه می‌گردد. در واقع فشار سیستم کندانس اتمسفریک است. مزیت این سیستم سادگی در اجرای آن و هزینه اولیه پایین آن است. این سیستم برای سیستم بخار فشار ضعیف بسیار مناسب است.

شکل۱۴-۳ شماتیک سیستم کندانس باز با ظرفیت تولیدی۹۰۰۰ lb/hr و فشار ۱۹۰psi را نمایش می‌دهد.



شکل۱۴-۳: چرخه بخار و کندانی در سیستم ونت به اتمسفر

به علت اختلاف فشار قبل و بعد از تله ۱۸/۳٪ از وزن کندانس (معادل۱۶۴۷lb/hr) به بخار فلش تبدیل خواهد شد که توسط ونت به اتمسفر تخلیه می‌گردد.

بر اساس محاسبات صورت گرفته درفصل ۱۰ تولید هر ۱۰۰۰ پوند بخار معادل $۸ هزینه درپی خواهد داشت. این رقم برای دیگ‌خانه‌ای با ۵۰۰۰ ساعت کار در طول یک سال رقمی معادل$۶۵۸۸۰ خواهد بود.

1- Vented Condensate Recovery
2- Pressurized Condensate Recovery

تمرین:

مطلوبست کاهش هزینه ناشی از اتلاف بخار فلش در مثال شکل۱۴-۳ چنانچه با نصب فشارشکن، فشار ورودی به تجهیزات را به ۶۰psi کاهش دهیم.

حل:

طبق قانون بقای انرژی ۹۰۰۰ پوند بخار تبدیل شده از ۱۹۰psi به۶۰psi انرژی برابر داشته و در فشار پایین‌تر برای تامین انرژی نیازی به بخار بیشتر نخواهد بود.

کاهش فشار همیشه امکان پذیر نیست زیرا کاهش فشار با کاهش دمای بخار همراه است و ممکن است زمان فرایند را افزایش دهد.

میزان بخار فلش در فشارpsi ۶۰ به ۱۰٪ کاهش پیدا می‌کند که۸/۳ ٪ کمتر از فشار psi ۱۹۰ است.

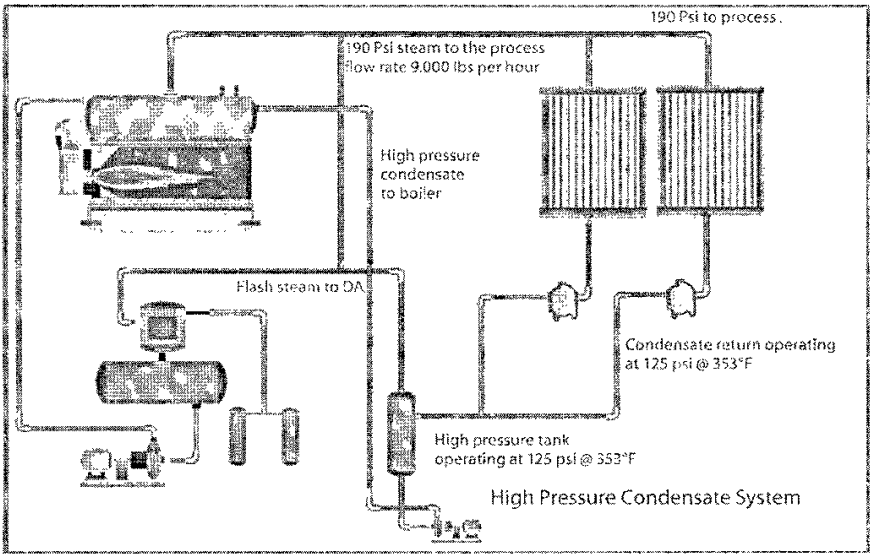
۹۰۰۰×٪۸/۳=۷۴۷

۷۴۷×۵۰۰۰×۸ $/1000lbs=۲۹۸۸۰

بنابراین با کاهش فشار بخار سالانه $ ۲۹۸۸۰ در اتلاف بخار فلش صرفه‌جویی خواهد شد.

کندانس تحت فشار

در سیستم کندانس تحت فشار بخار فلش توسط تانک‌فلش جدا سازی شده و مجدداً به سیستم مصرف باز می‌گردد. بدین ترتیب در این سیستم قابلیت بازیافت کامل انرژی موجود در کندانس وجود دارد.



شکل۱۴-۴: چرخه بخار و کندانس در سیستم کندانس تحت فشار

برای مثال در سیستم قبل با فشار۱۹۰psi با نصب تانک‌فلش در فشار۱۲۵psi می‌توانیم از کل انرژی آب اشباعpsi ۱۹۰ معادل ۳۵۸Btu/lb استفاده نماییم و در نتیجه در مصرف انرژی صرفه‌جویی قابل

ملاحظه نماییم.

شرایط اجراء کندانس تحت فشار

برای اجرای سیستم کندانس تحت فشار و استفاده از بخار فلش می‌بایست به چند نکته دقت نمود:

۱- سیستم تحت فشار می‌بایست در دیگ‌خانه‌هایی اجراء شود که کندانس فشار بالا به صورت دائمی موجود باشد.

۲- در مبدل‌های با شیر کنترل نمی‌توان کندانس تحت فشار نصب نمود زیرا ممکن است به استال بی‌انجامد.

۳- مصرف‌کننده بخار می‌بایست در فاصله نزدیکی نسبت به تانک‌فلش نصب شود.

۴- مصرف کننده‌های بخار فلش نباید مجهز به شیر کنترل باشند. یونیت‌هیترها و دی‌اریتور از بهترین گزینه‌ها هستند.

۵- برای تامین کمبود بخار فلش نصب یک انشعاب مجهز به شیر فشارشکن از خط بخار زنده الزامی است.

۶- برای جلوگیری از بالا رفتن فشار سیستم کندانس تحت فشار می‌بایست با نصب سوپاپ اطمینان و یا شیر پشتیبانی بخار اضافی را به اتمسفر تخلیه نمود.

تانک‌فلش

تانک‌فلش مهمترین جزء سیستم کنداس تحت فشار است و وظیفه جدایش بخار فلش و آب ناشی از کندانس را در جریان دو فازی کندانس به عهده دارد. این تانک می‌تواند به صورت عمودی و یا افقی ساخته شود. اساس عملکرد تانک‌فلش براساس نیروی ثقل است. بدین ترتیب که آب پس از ورود به مخزن به دلیل جرم حجمی بالاتر نسبت به بخار به سمت پایین و بخار فلش به سمت بالا حرکت می‌کند و از طریق سیستم انتقال به سمت مصرف کننده‌های فشار ضعیف هدایت می‌شود. آب محصور شده در مخزن می‌تواند به کمک یک پمپ و یا یک تله‌بخار از تانک‌فلش تخلیه و به سمت دی‌اریتور هدایت شود.

کاربرد تانک‌فلش در کجاست؟

حال سوال اساسی این است که آیا بر روی همه خطوط کندانس می‌توان تانک‌فلش نصب نمود؟

خطوط مدولینگ

تانک‌فلش را تنها می‌توان بر روی خطوطی از بخار که مدوله نباشند نصب نمود. این بدان معنا است که مصرف کننده‌های بخار که مجهز به شیر کنترل هستند و بنابر فرمان کنترلر میزان بخار ورودی به دستگاه (مثلاً یک کوئل مسی) را افزایش و یا کاهش می‌دهند همواره با تغییر فشار در داخل سیستم همراه‌اند. حال چنانچه فشار تنظیم شده در سیستم کندانس تحت فشار از فشار قبل از تله بیشتر شود و در نتیجه Δp تله‌بخار منفی شود عملاً تله از کار افتاده و قابلیت تخلیه کندانس از سیستم را نخواهد داشت. بنابراین نصب تانک‌فلش بر روی خطوط بدون شیر کنترل امکان‌پذیر است. از جمله خطوط بدون

شیر کنترل می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- ✓ خطوط تریسینگ
- ✓ دریپ لگ‌ها
- ✓ یونیت‌هیترها
- ✓ کوئل‌های بخار

استفاده ازبخار فلش

از آنجاییکه فشار بخار فلش فشار پایینی است و در نتیجه حجم بخار در این فشار زیاد است و سرعت مجاز برای بخار فلش حداکثر ٢٠m/s است سایز خطوط انتقال بخارفلش سایز بزرگی خواهد بود و اجراء و عایق‌کاری آن نیز هزینه بالایی را در پی دارد. از این‌رو بهتر است مصرف‌کننده بخار فلش به محل نصب تانک نزدیک باشد. در غیر این‌صورت انتقال بخار فلش در مسیر طولانی امکان پذیر نبوده و درصورت امکان نیز به دلیل سایز بزرگ خطوط انتقال هزینه بالایی در پی دارد.

بنابراین نصب تانک‌فلش منوط به‌وجود مصرف‌کننده در نزدیکی محل نصب است.

انتخاب تانک‌فلش

انتخاب تانک‌فلش و محاسبه صحیح ابعاد آن در عملکرد صحیح تانک‌فلش امری حیاتی است. زیرا عدم وجود فضای کافی برای بخار و آب و همچنین عدم کنترل سرعت حرکت بخار باعث همراهی آب و بخار شده و بخار را مرطوب می‌کند.

مراحل انتخاب تانک‌فلش

١- محاسبه میزان کندانس:

محاسبه حداکثر کندانسی که از سوی تجهیزات ممکن است به سوی تانک‌فلش سرازیر شود اولین مرحله از مراحل محاسبه تانک‌فلش است.

برای مثال:

دیگ‌خانه‌ای با ظرفیت مصرف بخار تا lbs/hr ٢٥٠٠٠معادل ton/hr ٣ /١١ با فشار psi١٥٠معادل bar ١٠/٣ برای تولید بخار فلش با فشارpsi١٠ معادل bar٠/٧

٢- محاسبه فشار:

به‌دست آوردن فشار سیستم و فشار مورد نیاز تانک‌فلش.

در مثال فوق فشار سیستمpsi١٥٠معادلbar١٠/٣ و فشار بخار فلشpsi١٠ معادلbar٠/٧

٣- محاسبه میزان بخار فلش:

برای بدست آوردن میزان بخار فلش تولید شده از فشار بالا به فشار پایین می‌توان از جدول١۴-١ بهره جست.

برای مثال از psi ١۵٠معادلbar ١٠/٣ برای تولید بخار فلش یا فشار psi١٠ معادل bar٠/٧ میزان تولید بخار فلش ١٣/٧٪ است. در نتیجه ١/٧ تن در ساعت بخار فلشbar٠/٧خواهیم داشت.

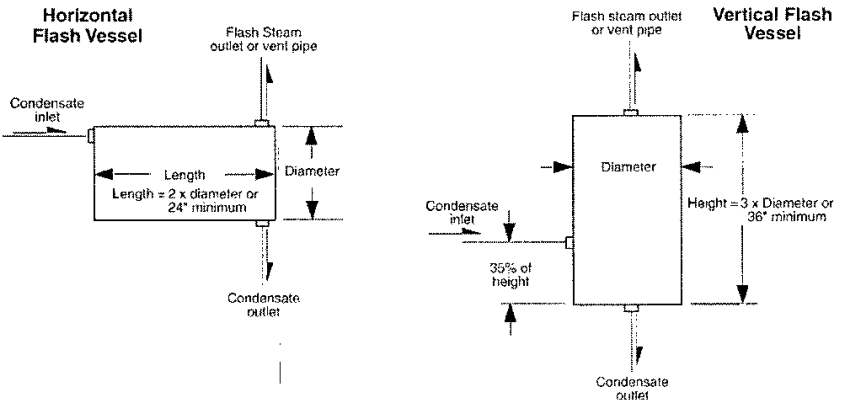
۲۵۰۰۰ lbs/hr (۱۱.۳ ton/hr) by ۱۳.۷%=۳۴۲۵ lbs/hr (۱.۷ ton/hr) Flash Steam ،

۴- محاسبه فضای بخار در تانک(قطر تانک‌فلش):

قطر تانک‌فلش باید به اندازه‌ای باشد که سرعت حرکت بخار در آن از حد مجـاز (۶۰۰ft/min) بیـشتر نشود. با کمک رابطه ۱۲-۱ سایز"۱۸ مناسب است.

۵- محاسبه فضای آب در تانک‌فلش:

رابطه بین قطر و ارتفاع تانک‌فلش در شکل۱۴-۵ نمایش داده شده است. با توجه به نسبت ۱به۳ در تانک‌های عمودی ارتفاع "۵۴ مناسب است.



شکل۱۴-۵: نسبت صحیح ابعاد تانک‌فلش در دو نوع افقی و عمودی

۶- انتخاب سایز ونت خروجی:

از آنجاییکه حداکثر سرعت بخار فلش۴۰۰۰ ft/min (۲۰m/s)است[۱] با مراجعه بـه نمـودار شـکل۱۲-۱ سایز لوله مورد نیاز معادل"۶ بدست می‌آید.

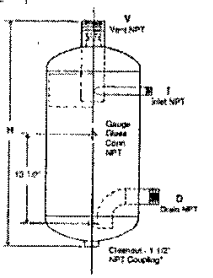
استفاده از جدول

اما برای محاسبه سریع و سادهٔ ابعاد تانک‌فلش می‌توان از جدول ۱۴-۲ استفاده کرد. بـه کمـک ایـن جدول می‌توان با در اختیار داشتن کل کندانس و میزان بخار فلش(lb/hr) ابعاد صحیح تانک‌فلش و محـل صحیح اتصالات آن را محاسبه نمود.

[۱] در بعضی از مراجع به حداکثر۱۵ m/s توصیه شده است.

جدول۱۴-۲: محاسبه سایز مناسب تانک فلش

#/Hour Condensate		#/Hour Flash Steam												
		100	500	700	1,000	2,000	3,000	4,000	8,000	12,000	16,000	21,000	25,000	35,000
100,000	Height	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108
	Diameter	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	36	36
	Drain	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Vent	2	2	2-1/2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18
90,000	Height	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
	Diameter	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	36	36
	Drain	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4
	Vent	2	2	2-1/2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18
80,000	Height	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
	Diameter	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	30	36	36
	Drain	5	5	5	5	5	5	5	8	4	4	4	4	4
	Vent	2	2	2-1/2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18
70,000	Height	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
	Diameter	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	30	36	36
	Drain	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	Vent	2	2	2-1/2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18
60,000	Height	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	
	Diameter	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	30	36	
	Drain	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
	Vent	2	2	2-1/2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	
50,000	Height	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	
	Diameter	20	20	20	20	20	20	20	20	20	24	30	36	
	Drain	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	
	Vent	2	2	2-1/2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	
40,000	Height	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56		
	Diameter	20	20	20	20	20	20	20	20	20	24	30		
	Drain	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3		
	Vent	2	2	2-1/2	3	4	5	6	8	10	12	14		
30,000	Height	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56		
	Diameter	18	18	18	18	18	18	18	18	20	24			
	Drain	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2-1/2			
	Vent	2	2	2-1/2	3	4	5	6	8	10	12			
20,000	Height	56	56	56	56	56	56	56	56	56				
	Diameter	14	14	14	16	16	16	16	16	20				
	Drain	2-1/2	2-1/2	2-1/2	2-1/2	2-1/2	2-1/2	2-1/2	2-1/2	2				
	Vent	2	2	2-1/2	3	4	5	6	8	10				
10,000	Height	34	34	34	34	34	34	34	34					
	Diameter	14	14	14	14	14	14	14	16					
	Drain	2	2	2	2	2	2	2	1-1/2					
	Vent	2	2	2-1/2	3	4	5	6	8					
5,000	Height	34	34	34	34	34	34	34						
	Diameter	10	10	10	10	14	14	14						
	Drain	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/4						
	Vent	2	2	2-1/2	3	4	5	6						
3,000	Height	34	34	34	34	34								
	Diameter	10	10	10	10	14								
	Drain	1-1/4	1-1/4	1-1/4	1-1/4	1-1/4								
	Vent	2	2	2-1/2	3	4								
2,000	Height	34	34	34	34									
	Diameter	8	8	8	10									
	Drain	1-1/4	1-1/4	1	1									
	Vent	2	2	2-1/2	3									
1,000	Height	34	34	34										
	Diameter	6	8	8										
	Drain	1	1	1										
	Vent	2	2	2-1/2										
500	Height	34	34											
	Diameter	6	6											
	Drain	1	1											
	Vent	2	2											



برای جدا سازی مناسب کندانس از بخار فلش ساخت تانک‌فلش به صورت افقی توصیه نمی‌شود

۷- نصب شیر اطمینان:

برای جلوگیری از افزایش فشار بخار فلش در مخزن می‌بایست اضافه بخار را در صورت وجود به اتمسفر تخلیه نمود. رایج‌ترین راه حل برای اینکار نصب شیر اطمینان با تنظیم فنر psi ۳ بالاتر از فشار تانک‌فلش است.

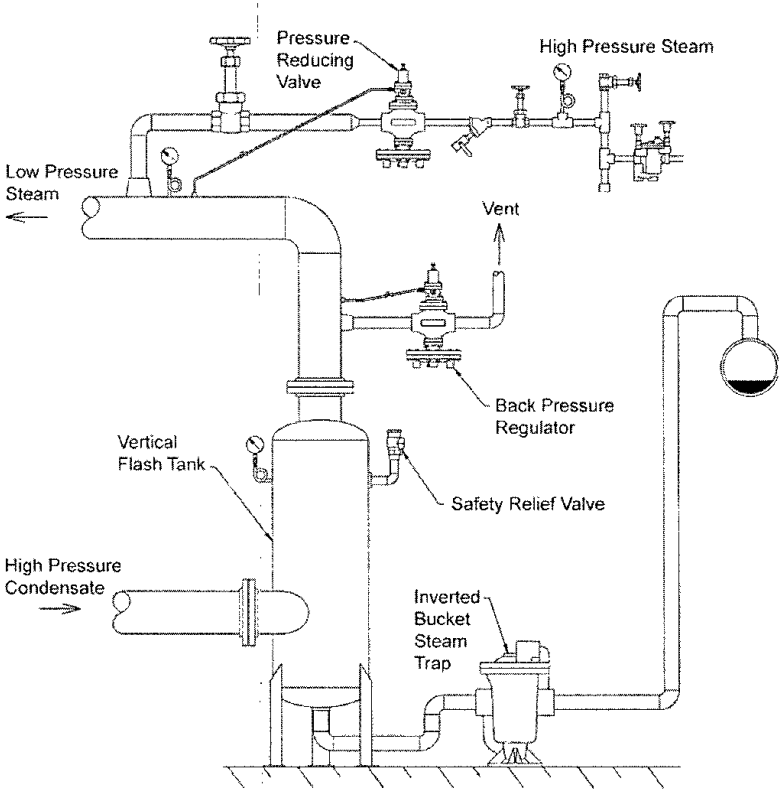
در مواردی که بخار فلش مثلاً در دی‌ایتور استفاده می‌شود و جریان بخار دائما باز است و اصولاً فشار بخار بالا نخواهد رفت استفاده از شیر اطمینان مناسب است. اما چنانچه احتمال افزایش فشار به صورت مکرر وجود دارد از آنجاییکه شیر اطمینان عملکرد مکانیکی داشته و برای عملکرد مداوم طراحی نمی‌شود بعد از مدت زمان کوتاهی از آب‌بندی خارج می‌شود. بدین منظور می‌بایست ازشیر کنترل فشار اضافی (شیر پشتیبانی) استفاده نمود. این شیر عملکردی برعکس شیر فشارشکن داشته و می‌تواند فشار اضافی را از سیستم خارج کند.

۸- خط بخار زنده:

برای جلوگیری از افت فشار بخار فلش وارد شده به تجهیزات در اثر کندانس یک انشعاب بخار با قدرت تامین کل بخار مصرف‌کننده (برای مواردی که بخار فلش موجود نیست) را به کمک یک فشارشکن به خط بخار فلش متصل می‌نماییم. تا چنانچه میزان بخار فلش کفایت نکرد به کمک بخار زنده بخار مورد نیاز تامین گردد. برای جلوگیری از ورود بخار زنده به تانک‌فلش باید یک شیر یک‌طرفه در خروجی مخزن نصب شود تا بخار زنده در زمان عدم استفاده از تانک‌فلش وارد آن نشود.

۹- خط بای‌پس:

بهتر است برای اطمینان یک خط بای‌پس برای سیستم بخار فلش اجراء نمود تا در صورت نیاز بتوان خط بخار فلش را از مدار خارج نمود و سیستم کندانس را به صورت ونت به اتمسفر مورد استفاده قرار داد.



شکل۱۴-۶: شماتیک اجرای تانک‌فلش

سایز زنی خطوط کندانس

سایز زنی خطوط کندانس شامل ۴ بخش اصلی است:

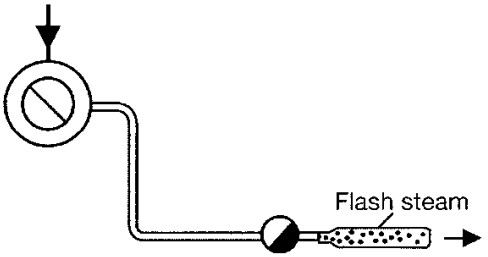
الف)خروجی تجهیز مصرف‌کننده بخار(توسط سازنده صورت می‌گیرد)
ب)لوله خروجی از مصرف‌کننده بخار تا ورودی تله‌بخار
ج)انتخاب سایز مناسب تله‌بخار
د)لوله انتقال کندانس شامل لوله خروجی از تله‌بخار، لوله مشترک برگشت کندانس، لوله انتقال کندانس توسط پمپ

انتخاب تله و لوله ورودی به تله

لوله ورودی به تله نمی‌تواند همواره برابر سایز خروجی مصرف‌کننده بخار باشد. نکته مهم در ارتباط با این لوله عدم وجود بخار فلش در آن است. در صورت انتخاب سایز مناسب تله لوله ورودی به آن می‌تواند برابر سایز تله باشد. تله نیز براساس ماکزیمم کندانس مصرف‌کننده و ضریب اطمینان مناسب انتخاب می‌شود.

لوله خروجی از تله

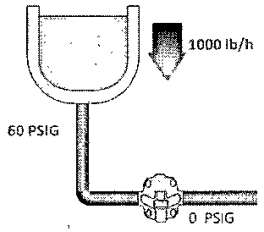
همانطور که گفتیم ایجاد بخار فلش در خطوط کندانس امری اجتناب ناپذیر است. بنابراین جریان دو فازی آب و بخار در داخل لوله در جریان خواهد بود. از آنجاییکه حجم بخار در فشارهای پایین زیاد است نسبت حجمی بخار فلش و آب ناشی از کندانس شبیه بخار مرطوب خواهد بود.



شکل۱۴-۷: جریان دو فازی سبب افزایش سایز لوله بعد از تله می‌شود

تمرین:

مطلوبست نسبت حجمی و وزنی آب و بخار فلش در مصرف‌کننده بخار با فشار ۶۰psi (۴,۱bar) تخلیه شده به سیستم کندانس با فشار اتمسفر.



حل:

با مراجعه به جدول۱۴-۱ میزان بخار فلش ایجاد شده به میزان۱۰٪ به‌دست می‌آید. بنابراین هر

کیلوگرم آب اشباع در فشار ۶۰psi به ۰/۱کیلوگرم بخار فلش و ۰/۹ کیلوگرم آب اشباع°C ۱۰۰ (۲۱۲°F)تبدیل می‌شود. بنابراین ۱۰ ٪ از وزن کندانس بخار فلش و ۹۰٪ از وزن کندانس آب است.

اما نسبت حجمی کاملاً متفاوت است.

حجم بخار در فشار اتمسفر m^3/kg ۱/۶۷ (۲۶/۸ .cu. ft./lb)است. در نتیجه ۱۰٪ بخار فلش(۰/۱گرم) حجمی معادل ۰/۰۹۱ متر مکعب را اشغال می‌کند.

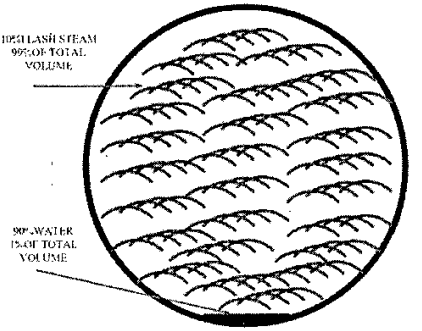
جرم حجمی آب در دمای°C ۱۰۰(۲۱۲°F) معادل ۱۰۰۰کیلوگرم بر متر مکعب است. در نتیجه ۹۰٪ آب(۰/۹گرم) حجمی معادل ۰/۰۰۱متر مکعب را اشغال می‌کند.

مجموع حجم آب و بخار برابر خواهد بود با:

۰/۰۰۱+۰/۰۹۱=۰/۰۹۲

نسبت حجمی بخار برابر خواهد بود با:

$$\frac{۰/۰۹۱}{۰/۰۹۲}\times ۱۰۰ = ۹۹\%$$



شکل۱۴-۸: نسبت حجمی بخار و آب در لوله کندانس

محاسبات کاملاً گویا است که در انتخاب خطوط کندانس می‌بایست بسیار دقت به عمل آورد تا سرعت حرکت بخار فلش در شرایط مناسبی قرار گیرد. تا بدین ترتیب از بروز ضربه‌قوچ و خوردگی جلوگیری به عمل آید.

سرعت بالای بخار باعث ایجاد فشار برگشت (Back Pressure) پشت تله‌بخار شده و میزان تخلیه آن را کاهش می‌دهد.

سایززنی جریان دو فازی کندانس

لوله‌های انتقال جریان دو فازی کندانس را می‌توان به کمک جدول ضریب تصحیح۱۴-۳ محاسبه نمود.

جدول ۱۴-۳: جدول ضریب تصحیح لوله‌های انتقال جریان دو فازی

State of the condensate before flashing

Pressure bara	Related boiling temperature °C	Pressure at the end of the condensate line [bar absolute]																				
		0.2	0.5	0.8	1.0	1.2	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6	7	8	9	10	12	15	18	20
1.0	99	35.7	16.0	7.4																			
1.2	104	37.9	18.0	10.0	6.1																		
1.5	111	40.1	20.6	12.9	9.5	6.8																	
2.0	120	44.2	23.5	15.8	12.6	10.3	7.6																
2.5	127	46.8	25.5	17.7	14.5	12.3	9.2	5.3															
3.0	133	48.8	27.1	19.2	16.0	13.9	10.7	7.3	4.5														
3.5	138	50.4	28.4	20.4	17.1	15.0	11.9	8.5	6.0	3.8													
4.0	143	52.0	29.6	21.5	18.2	18.0	12.9	9.7	7.3	5.3	3.5												
4.5	147	53.3	30.5	22.3	19.0	16.9	13.7	10.5	8.1	6.3	4.7	3.0											
5	151	54.3	31.5	23.1	19.8	17.7	14.4	11.2	8.9	7.1	5.6	4.2	2.8										
6	155	55.7	32.3	23.9	20.5	18.4	15.2	11.9	9.6	7.9	6.5	5.1	4.0	2.7									
7	158	56.5	33.0	24.5	21.1	18.9	15.7	12.4	10.1	8.4	7.0	5.7	4.6	3.5	2.1								
8	170	59.9	35.5	26.7	23.1	20.9	17.6	14.2	11.9	10.2	8.9	7.7	6.7	5.8	4.8	4.0							
9	175	61.3	36.4	27.5	23.9	21.7	18.3	14.9	12.6	10.9	9.5	8.4	7.4	6.6	5.5	4.8	2.4						
10	179	62.3	37.2	28.2	24.6	22.3	18.9	15.5	13.1	11.4	10.0	8.9	7.9	7.1	6.0	5.3	3.3	2.1					
12	187	64.4	38.7	29.5	25.7	23.5	19.9	16.5	14.1	12.3	11.0	9.8	8.9	8.0	7.0	6.2	4.5	3.6	2.8				
15	197	66.9	40.5	31.0	27.2	24.8	21.5	17.7	15.2	13.4	12.0	10.8	9.9	9.1	8.0	7.2	5.6	4.8	4.2	2.9			
18	206	69.0	42.0	32.3	28.4	26.0	22.3	18.7	16.2	14.3	12.9	11.7	10.8	9.9	8.8	8.0	6.5	5.7	5.1	3.9	2.5		
20	211	70.2	42.9	33.0	29.0	26.6	22.9	19.2	16.7	14.8	13.4	12.2	11.2	10.4	9.2	8.4	7.0	6.2	5.6	4.4	3.1	1.7	
25	223	72.9	44.8	34.7	30.6	28.1	24.2	20.4	17.9	15.9	14.5	13.2	12.2	11.4	10.2	9.3	7.9	7.1	6.5	5.4	4.2	3.1	2.5
30	233	75.1	46.3	36.0	31.8	29.2	25.3	21.4	18.8	16.8	15.3	14.0	13.0	12.1	10.9	10.0	8.6	7.8	7.2	6.1	4.9	4.0	3.4
35	241	76.8	47.5	37.0	32.7	30.1	26.1	22.1	19.5	17.5	15.9	14.6	13.6	12.7	11.4	10.5	9.2	8.4	7.8	6.7	5.5	4.5	4.0
40	249	78.5	48.7	38.0	33.6	31.0	26.9	22.9	20.1	18.1	16.5	15.2	14.1	13.2	12.0	11.0	9.7	8.6	8.2	7.1	6.0	5.0	4.5
45	256	80.0	49.7	38.8	34.4	31.7	27.5	23.5	20.7	18.6	17.0	15.7	14.6	13.7	12.4	11.4	10.1	9.3	8.6	7.5	6.3	5.4	4.9
50	263	81.4	50.7	39.6	35.2	32.5	28.2	24.1	21.2	19.1	17.5	16.2	15.1	14.2	12.8	11.8	10.5	9.6	9.0	7.9	6.7	5.7	5.2

To determine the actual diameter (mm), the above values must be multiplied with the following factors:

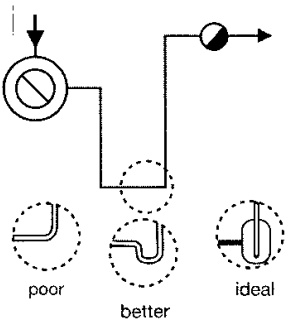
kg/h	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1,000	1,500	2,000	3,000	5,000	8,000	10,000	15,000	20,000
Factor	1.0	1.4	1.7	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.9	4.5	5.5	7.1	8.9	10.0	12.2	14.1

تمرین:

مطلوبست سایز مناسب برای لوله انتقال ۱۲۰۰ kg/hr کندانس از تله چلانچه فشار بخار قبل از تله با فشار ۵ bara و فشار خط کندانس ۱/۵bara باشد.

انتقال کندانس به ارتفاع بالاتر

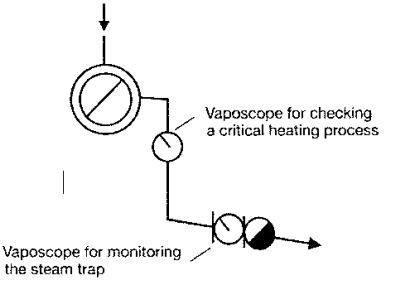
برای انتقال کندانس به ارتفاع بالاتر استفاده از زانوی ۹۰درجه ممکن است به بروز ضربه‌قوچ بی‌انجامد. شکل۱۴-۱۱ طریقه صحیح این انتقال را نمایش می‌دهد.



شکل۱۴-۱۱: شماتیک اتصال خطوط کندانس عمودی برای جلوگیری از بروز ضربه‌قوچ

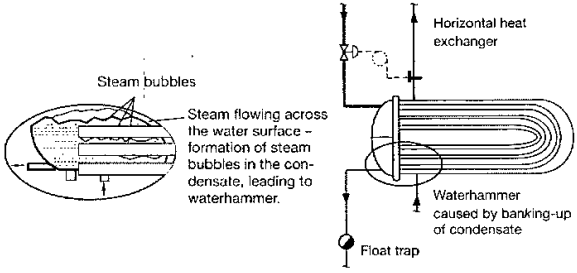
نصب شیشه دید مجزا برای کنترل Banking-up

می‌توان با نصب یک شیشه دید مجزا در خروجی مبدل از تخلیه صحیح کندانس مطلع شد.



شکل۱۴-۱۲: شماتیک نصب شیشه دید اتصال خطوط کندانس برای جلوگیری از بروز ضربه‌قوچ

عدم تخلیه کندانس از مبدل در زمان باز شدن شیر کنترل و ورود بخار می‌تواند به بروز ضربه‌قوچ بیانجامد.

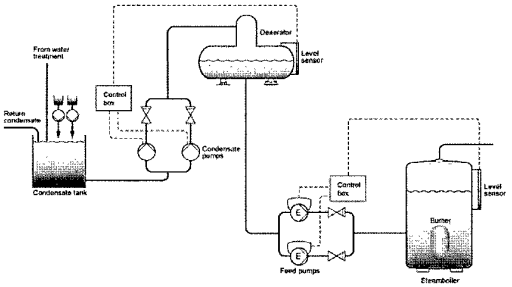


شکل۱۴-۱۳: محل و نوع بروز ضربه‌قوچ در مبدل حرارتی

فصل ۱۵
پمپ در دیگ خانه

پمپ در دیگ‌خانه بخار

پمپ‌های سانتریفیوژ در موتور خانه‌های بخار کاربرد وسیعی دارند که مهم‌ترین آنها پمپ‌های تغذیه بویلر بخار[1] و پمپ‌های کندانس[2] (انتقال آب از تانک کندانس[3] به دی‌اریتور[4]) هستند.



شکل ۱۵-۱: شماتیک یک دیگ خانهٔ بخار

کاویتاسیون

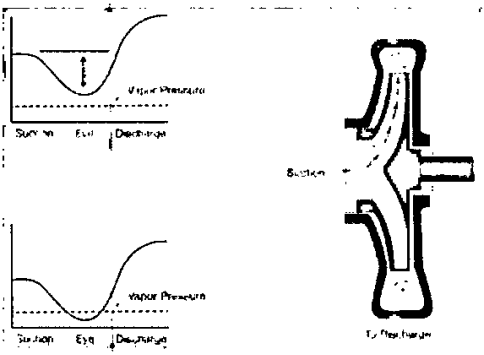
از آنجاییکه انتقال آب کنداس به دی‌اریتور و همچنین انتقال آب از دی‌اریتور به بویلر در دمای بالایی صورت می‌گیرد بروز پدیده کاویتاسیون از مهم‌ترین موارد در انتخاب پمپ برای دیگ‌خانه است.

کاویتاسیون

تعریف: هرگاه در محلی از پمپ (غالبا پروانه) هوا تجمع کند و حباب گاز تشکیل شود در هنگام

1- Feed pump
2- Condensate pump
3- Condensate tank
4- Deaerator tank

خروج این گاز از لبه پروانه این حباب‌ها می‌ترکند و فشار منفی بالایی روی پروانه ایجاد می‌کند که باعث خوردگی پمپ، لرزش، سر و صدا، از بین بردن آببندی و کاهش بازده می‌شود. پدیده کاویتاسیون بیشتر در جاهایی اتفاق می‌افتد که فشار مایع کمتر یا مساوی فشاربخار[1] در آن دما می‌شود. برای مثال P_v آب در دمای ۱۵درجه سانتی‌گراد معادل ۱۷۰۰ پاسکال است اما در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد این عدد به۷۰۱۱۰پاسکال می‌رسد. بنابراین مساله بروز کاویتاسیون در مکش آب با دمای بالا بسیار شایع‌تر از مکش آب در دمای پایین است.



شکل ۱۵-۲: منحنی فشار مایع در پمپ سانتریفیوژ

نیروی کاویتاسیون چقدر است؟

هنگامی که حباب‌ها از ناحیه کم فشار به ناحیه پر فشار منتقل می‌شود می‌ترکد و با سرعت صوت به دیواره‌های داخلی پمپ ضربه می‌زند. که این اتفاق صدای بسیار زیادی را ایجاد می‌کند (مانند صدای برخورد سنگ با فلز).

از آنجاییکه سرعت صوت در آب ۴۸۰۰ فوت بر ثانیه است و با توجه به رابطه $H_v = \frac{V^2}{2g}$ می‌توان نیرو را محاسبه نمود:

$$H_v = \frac{V^2}{2g} \Rightarrow \quad = \frac{(4800FT/SEC)^2}{2\times(32/16FT)} = \frac{23040000}{64/32} = 358209ft$$

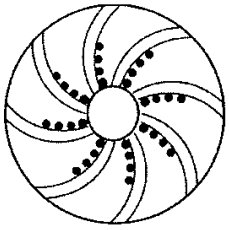
$$\text{Pressure in psi} = \frac{\text{Head} \times \text{Sp.gr.}}{2/31} = \frac{358/209 \times 1/0}{2/31} = 155/069psi$$

با توجه به محاسبات فوق می‌توان دریافت که چرا پدیده کاویتاسیون می‌تواند در مدت زمان کوتاهی پمپ را راهی تعمیرگاه نماید.

کاویتاسیون تبخیری(کاویتاسیون کلاسیک)

درصورتیکه در دهانه مکش پمپ‌ها فشار مایع کمتر از فشار بخار شود در آنجا عمل تبخیر اتفاق می‌افتد و بخشی از آب بخار می‌شود. بخار پس از گذر از پروانه (در پمپ‌های طبقاتی پروانه اول) وارد محدوده فشار بالا می‌شود. با بالا رفتن فشار حباب بخار می‌ترکد و پدیده کاویتاسیون اتفاق می‌افتد. از

1- Vapour Pressure (P_v)

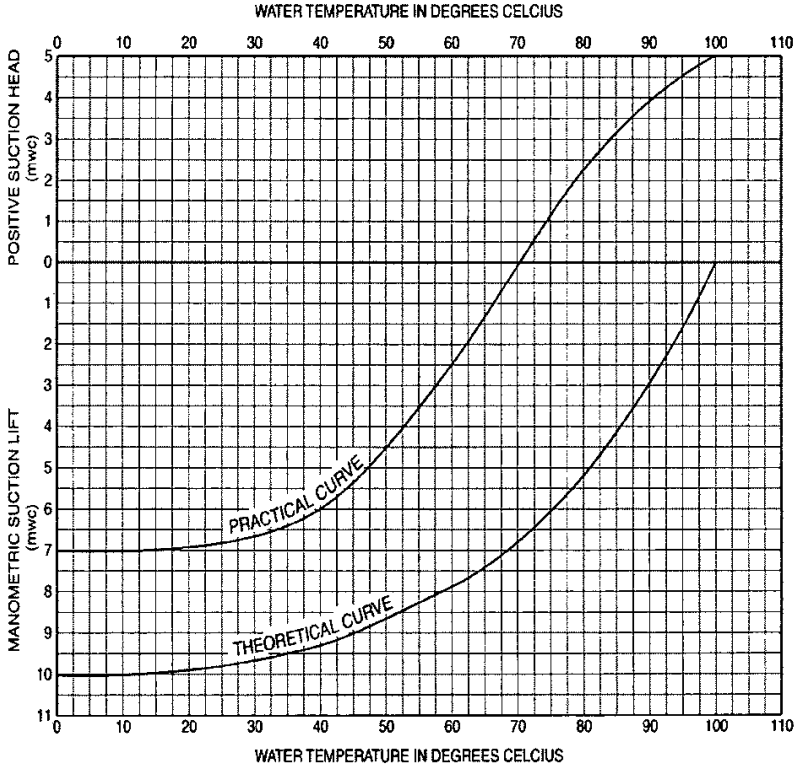


آنجاییکه این اتفاق شایع‌ترین نوع کاویتاسیون می‌باشد و حدود ۷۰٪ از کاویتاسیون‌ها را در بر می‌گیرد به آن کاویتاسیون کلاسیک می‌گویند. بیشترین آسیب به پروانه پمپ در این نوع از کاویتاسیون در شکل زیر نشان داده شده است برای جلوگیری از این اتفاق می‌بایست NPSHa از $NPSH_R$ بیشتر باشد.

شکل ۱۵-۳: محل آسیب پروانه در کاویتاسیون تبخیری

در ادامه محاسبات مقدار NPSH را توضیح خواهیم داد اما نمودار شکل ۱۵-۴ به عنوان محاسبات سر انگشتی و سریع مکش آب توسط پمپ در دماهای مختلف ارائه شده توسط شرکت کالپدا ایتالیا می‌باشد که به کمک آن می‌توان مکش پمپ را به سرعت محاسبه نمود.

عددهای استخراج شده از نمودار ۱۵-۴ خالص است بدین معنا که باید به آن ۲۰٪ به عنوان ضریب اطمینان اضافه نمود و همچنین هد ناشی از اصطکاک لوله، افت ناشی از شیر یک‌طرفه یا سوپاپ مکش و همچنین کلیه شیرآلات و اتصالات را جدا گانه در نظر گرفت.



شکل ۱۵-۴: توان مکش آب توسط پمپ در دماهای مختلف

ارتفاع مکش مثبت خالص[1]

در پمپ‌های گریز ازمرکز پدیده کاویتاسیون هنگامی اتفاق می‌افتد که ارتفاع مکش مثبت خالص از آنچه که کارخانه سازنده توصیه نموده است کمتر باشد. پس برای تحلیل شرایط بروز این پدیده لازم است هم شرایط مکش پمپ و هم مشخصه‌های آن مورد بررسی قرار گیرند. برای تحلیل این شرایط ، NPSH به دو دسته تقسیم‌بندی می‌شود.

۱ـ خالص ارتفاع مثبت مورد نیاز در قسمت مکش پمپ[2] $(NPSH_R)$

۲ـ خالص ارتفاع مثبت قابل دسترس در قسمت مکش پمپ[3] $(NPSH_A)$

$NPSH_R$ را می‌توان انرژی پتانسیل مورد نیاز (هد بر حسب متر) در قسمت مکش پمپ مازاد برفشار بخار مایع (بر حسب متر) در دمای انتقال تعریف کرد که امکان بهره‌برداری از پمپ بدون بروز پدیده کاویتاسیون در آن را میسر می‌سازد. این پارامتر به مشخصه‌های رفتاری و طراحی، دبی جریان، سرعت دورانی پروانه و... بستگی داشته و از سوی کارخانه‌های سازنده پمپ براساس قطرهای مختلف پروانه در اختیار مشتریان قرار داده می‌شود.

$NPSH_A$ جزء مشخصه‌های سیستم پمپاژ بوده و به عوامل متعددی از قبیل فشار محیط، خواص فیزیکی مایع، قطر لوله مکش و... بستگی دارد. از نظر تئوری درصورتیکه $NPSH_A$ از $NPSH_R$ پمپ، در دبی بهره‌برداری بیشتر باشد کاویتاسیون اتفاق نمی‌افتد. اکثر سازندگان پمپ‌های گریز از مرکز توصیه می‌کنند که جهت اطمینان از بروز پدیده کاویتاسیون بهتر است که $NPSH_A$ حداقل ۰/۵ متر از $NPSH_R$ بیشتر باشد و در بعضی از مراجع توصیه شده است که $NPSH_A$ برای آب باید حدود ۲۰ درصد از $NPSH_R$ بیشتر باشد ولی مقدار اختلاف نباید از ۰/۵ متر کمتر باشد.

[4] P_{atm} فشار اتمسفر (Pa)

[5] P_v فشار بخار سیالی که پمپ می‌شود در دمای منبع (Pa)

[6] γ جرم مخصوص سیال (ρg) N/m^3

[7] Zs هد استاتیکی مکش (m)

[8] h_f افت هد اصطکاکی مسیر در قسمت مکش (m) است

مقدار $NPSH_A$ از رابطه زیربدست می‌آید

$$NPSH_A = \frac{P_{atm} - P_v}{\gamma} - z_s - h_f$$

ماکزیمم عمق مکش از رابطه زیربدست می‌آید

$$Z_{smax} = \frac{P_{atm}}{\gamma} - \left\{ NPSH_R + \frac{P_v}{\gamma} + h_f \right\}$$

تمرین: مطلوب است تعیین ماکزیمم عمق مکشی که یک پمپ برای پمپاژ سیال آب از نظر تئوری می‌تواند داشته باشد.

حل:

از نظر تئوری ماکزیمم عمق مکش یک پمپ هنگامی به‌دست می‌آید که در رابطه ترم دوم موجود در سمت راست رابطه برابر صفر باشد پس:

1- Net Positive Suction Head
2- Net Positive saction head required
3- Net Positive saction head Available
4- Atmospheric Pressure
5- Vapour Pressare
6- Specitic Weiht
7- Vertical distance
8- Friction head

$$Z_{s\max} = \frac{P_{atm}}{\gamma} - \left\{ NPSH_R + \frac{P_v}{\gamma} + h_f \right\} \Rightarrow Z_{s\max} = \frac{P_{atm}}{\gamma} = \frac{۱۰۱۳۲۵}{۹۷۹۰.۴} = ۱۰.۳۵m$$

مکش پمپ‌ها محدود است ولی می‌توانند هد بالایی ایجاد کنند (هد استاتیکی مکش پایین و هد استاتیکی دهش بالایی دارند) لذا پمپ برای دهش سیال است نه مکش آن.

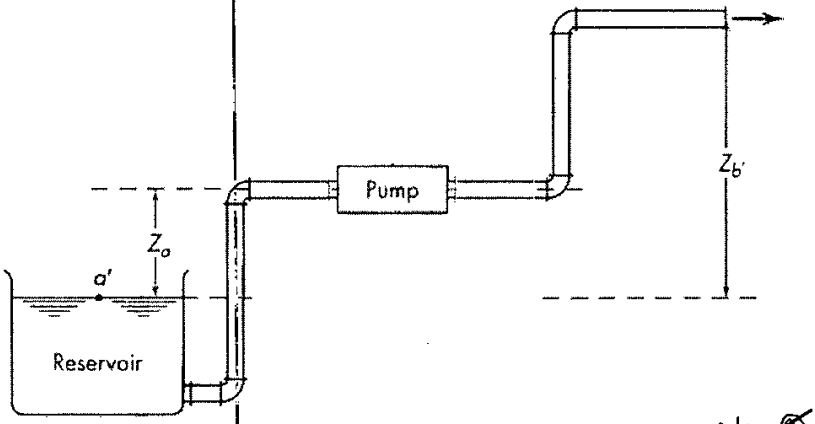
جدول ۱۵-۱: چگالی و فشار بخار آب در دماهای مختلف

Vapour pressure p and density ρ of water at different temperatures

t[°C]	T[K]	P[bar]	ρ[kg/m³]	t[°C]	T[K]	P[bar]	ρ[kg/m³]	t[°C]	T[K]	P[bar]	ρ[kg/m³]
0	273.15	0.00611	0999.8					138	411.15	3.414	927.6
1	274.15	0.00657	0999.9	61	334.15	0.2086	982.6	140	413.15	3.614	925.8
2	275.15	0.00706	0999.9	62	335.15	0.2184	982.1	145	418.15	4.155	921.4
3	276.15	0.00758	0999.9	63	336.15	0.2286	981.6	150	423.15	4.760	916.8
4	277.15	0.00813	1000.0	64	337.15	0.2391	981.1				
5	278.15	0.00872	1000.0	65	338.15	0.2501	980.5	155	428.15	5.433	912.1
6	279.15	0.00935	1000.0	66	339.15	0.2615	979.9	160	433.15	6.181	907.3
7	280.15	0.01001	999.9	67	340.15	0.2733	979.3	165	438.15	7.008	902.4
8	281.15	0.01072	999.9	68	341.15	0.2856	978.8	170	443.15	7.920	897.3
9	282.15	0.01147	999.8	69	342.15	0.2984	978.2	175	448.15	8.924	892.1
10	283.15	0.01227	999.7	70	343.15	0.3116	977.7				
								180	453.15	10.027	886.9
11	284.15	0.01312	999.7	71	344.15	0.3253	977.0	185	458.15	11.233	881.5
12	285.15	0.01401	999.6	72	345.15	0.3396	976.5	190	463.15	12.551	876.0
13	286.15	0.01497	999.4	73	346.15	0.3543	976.0	195	468.15	13.987	870.4
14	287.15	0.01597	999.3	74	347.15	0.3696	975.3	200	473.15	15.50	864.7
15	288.15	0.01704	999.2	75	348.15	0.3855	974.8				
16	289.15	0.01817	999.0	76	349.15	0.4019	974.1	205	478.15	17.243	858.8
17	290.15	0.01936	998.8	77	350.15	0.4189	973.5	210	483.15	19.077	852.8
18	291.15	0.02062	998.7	78	351.15	0.4365	972.9	215	488.15	21.060	846.7
19	292.15	0.02196	998.5	79	352.15	0.4547	972.3	220	493.15	23.198	840.3
20	293.15	0.02337	998.3	80	353.15	0.4736	971.6	225	498.15	25.501	833.9
21	294.15	0.02485	998.1	81	354.15	0.4931	971.0	230	503.15	27.976	827.3
22	295.15	0.02642	997.8	82	355.15	0.5133	970.4	235	508.15	30.632	820.5
23	296.15	0.02808	997.6	83	356.15	0.5342	969.7	240	513.15	33.478	813.6
24	297.15	0.02982	997.4	84	357.15	0.5557	969.1	245	518.15	36.523	806.5
25	298.15	0.03166	997.1	85	358.15	0.5780	968.4	250	523.15	39.776	799.2
26	299.15	0.03360	996.8	86	359.15	0.6011	967.8	255	528.15	43.246	791.6
27	300.15	0.03564	996.6	87	360.15	0.6249	967.1				
28	301.15	0.03778	996.3	88	361.15	0.6495	966.5	260	533.15	46.943	783.9
29	302.15	0.04004	996.0	89	362.15	0.6749	965.8	265	538.15	50.877	775.9
30	303.15	0.04241	995.7	90	363.15	0.7011	965.2	270	543.15	55.058	767.8
								275	548.15	59.496	759.3
31	304.15	0.04491	995.4	91	364.15	0.7281	964.4	280	553.15	64.202	750.5
32	305.15	0.04753	995.1	92	365.15	0.7561	963.8				
33	306.15	0.05029	994.7	93	366.15	0.7849	963.0	285	558.15	69.186	741.5
34	307.15	0.05318	994.4	94	367.15	0.8146	962.4	290	563.15	74.461	732.1
35	308.15	0.05622	994.0	95	368.15	0.8453	961.6	295	568.15	80.037	722.3
36	309.15	0.05940	993.7	96	369.15	0.8769	961.0	300	573.15	85.927	712.2
37	310.15	0.06274	993.3	97	370.15	0.9094	960.2	305	578.15	92.144	701.7
38	311.15	0.06624	993.0	98	371.15	0.9430	959.6	310	583.15	98.700	690.6
39	312.15	0.06991	992.7	99	372.15	0.9776	958.6				
40	313.15	0.07375	992.3	100	373.15	1.0133	958.1	315	588.15	105.61	679.1
								320	593.15	112.89	666.9
41	314.15	0.07777	991.9	102	375.15	1.0878	956.7	325	598.15	120.56	654.1
42	315.15	0.08198	991.5	104	377.15	1.1668	955.2	330	603.15	128.63	640.4
43	316.15	0.08639	991.1	106	379.15	1.2504	953.7	340	613.15	146.05	610.2
44	317.15	0.09100	990.7	108	381.15	1.3390	952.2				
45	318.15	0.09582	990.2	110	383.15	1.4327	950.7	350	623.15	165.35	574.3
46	319.15	0.10086	989.8					360	633.15	186.75	527.5
47	320.15	0.10612	989.4	112	385.15	1.5316	949.1				
48	321.15	0.11162	988.9	114	387.15	1.6362	947.6	370	643.15	210.54	451.8
49	322.15	0.11736	988.4	116	389.15	1.7465	946.0	374.15	647.30	221.2	315.4
50	323.15	0.12335	988.0	118	391.15	1.8628	944.5				
				120	393.15	1.9854	942.9				
51	324.15	0.12961	987.6								
52	325.15	0.13613	987.1	122	395.15	2.1145	941.2				
53	326.15	0.14293	986.6	124	397.15	2.2504	939.6				
54	327.15	0.15002	986.2	126	399.15	2.3933	937.9				
55	328.15	0.15741	985.7	128	401.15	2.5435	936.2				
56	329.15	0.16511	985.2	130	403.15	2.7013	934.6				
57	330.15	0.17313	984.6								
58	331.15	0.18147	984.2	132	405.15	2.8670	932.8				
59	332.15	0.19016	983.7	134	407.15	3.041	931.1				
60	333.15	0.19920	983.2	136	409.15	3.223	929.4				

تمرین

مطلوبست ماکزیمم ارتفاع مکش (z_s) یک پمپ سانتریفوژ در صورتیکه $NPSH_R$ آن ۲/۵ متر، افت هداصطکاکی مسیر لوله‌کشی در قسمت مکش ۱/۵ متر فشار اتمسفر۱۰۱۳۲۵ پاسکال و دمای آب موجود در منبع به ترتیب ۱۵°C، ۶۰°C و ۹۰°C باشد.[۱]



حل:

در شکل ارتفاع مکش پمپ با Z_a نشان داده شده است و برای تعیین ماکزیمم آن برای آنکه پدیده کاویتاسیون اتفاق نیافتد از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Z_{s\max} = \frac{P_{atm}}{\gamma} - \left\{ NPSH_R + \frac{P_v}{\gamma} + h_f \right\}$$

دمای آب (°C)	P_v (Pa)	$\gamma(N/m^3)$	ماکزیمم ارتفاع مکش
۱۵	۱۷۰۰	۹۷۹۲	$Z_{Smax} = \frac{۱۰۱۳۲۵}{۹۷۹۲} - \left\{ ۲.۵ + \frac{۱۷۰۰}{۹۷۹۲} + ۱.۵ \right\} = ۶.۲m$
۶۰	۱۹۹۲۰	۹۶۴۵	$Z_{smax} = \frac{۱۰۱۳۲۵}{۹۶۴۵} - \left\{ ۲.۵ + \frac{۱۹۹۲۰}{۹۶۴۵} + ۱.۵ \right\} = ۴.۴m$
۹۰	۷۰۱۱۰	۹۴۶۰	$Z_{smax} = \frac{۱۰۱۳۲۵}{۹۴۶۰} - \left\{ ۲.۵ + \frac{۷۰۱۱۰}{۹۴۶۰} + ۱.۵ \right\} = -۰/۷m$

همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش دمای آب، ماکزیمم ارتفاعی که پمپ می‌تواند مکش کند (بدون اینکه پدیده کاویتاسیون اتفاق بیافتد) کاهش می‌یابد لذا با افزایش دمای سیال استعداد کاویتاسیون در پمپ افزایش می‌یابد. در این مثال مقدار ماکزیمم ارتفاع مکش، برای آب با دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد ۰/۷- متر بدست آمد این بدین معنی است که سطح آب موجود در منبع باید ۰/۷ متر بالاتر از پمپ باشد برای اینکه پدیده کاویتاسیون اتفاق نیافتد (منبع باید بر پمپ سوار باشد).

---

[۱]. جدول جرم مخصوص آب در دماهای مختلف در فصل ضمائم آمده است

راه‌های پیش‌گیری از کاویتاسیون کلاسیک

۱ـ کاهش دمای سیال: ساده‌ترین راه حل برای جلوگیری از پدیده کاویتاسیون کاهش دمای سیال است. کاهش دمای سیال سبب می‌شود Pv کاهش یابد و در نتیجه $NPSH_A$ بزرگ‌تر شده و مانع از بروز پدیده کاویتاسیون می‌شود. نکته مهم در کاهش دما ریتم تغییرات Pv در دماهای مختلف است.

کاهش Pv آب با کاهش دما در محدوده دمایی ۸۰-۱۰۰ درجه سانتی‌گراد با شیب تندتری نسبت به دماهای دیگر اتفاق می‌افتد. برای مثال با مراجعه به جدول۱۵-۱ فشار بخار آب (Pv)در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد معادل۱٫۰۱bar و در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد را معادل۰٫۴۷bar و در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد را معادل۰٫۲bar استخراج می‌شود. همانطور که از اعداد فوق مشخص است با کاهش ۲۰ درجه سانتی‌گراد از ۱۰۰ به ۸۰ Pv معادل ۰٫۵۴bar کاهش می‌یابد اما با همین اختلاف دما از ۸۰ به ۶۰ Pv معادل۰٫۲۷bar کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان دریافت که مشکل بروز کاویتاسیون در دماهای بالای ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد حادتر است.

۲ـ افزایش هد استاتیکی در مکش: برای آنکه پمپ بتواند آب ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد (دمای آب تغذیه بویلر) را بدون بروز پدیده کاویتاسیون مکش نماید می‌توان با افزایش هد استاتیکی $NPSH_A$ را افزایش داد. برای اجرای این مهم دو راهکار پیشرو است:

الف) نصب دی‌اریتور در ارتفاع: ساده‌ترین راهکار برای افزایش هد استاتیکی ایجاد هد مثبت با بالا بردن محل نصب دی‌اریتور است. بدین ترتیب فشار ستون آب در مکش پمپ سبب می‌شود $NPSH_A$ مورد نیاز تامین شود و در نتیجه کاویتاسیون بروز نکند. ارتفاع استاندارد بدین منظور معادل ۹ متر ستون آب است که متاسفانه در اکثر دیگ‌خانه‌های کشورمان قابلیت اجراء ندارد.

ب)استفاده از دی‌اریتورهای مناسب برای سقف کوتاه: این نوع دی‌اریتورها می‌توانند با ایجاد فشار استاتیک مصنوعی توسط فشار بخار در محفظه دی‌اریتور فشار مثبت مورد نیاز پمپ را تامین کند.(مراجعه شود به فصل ۸)

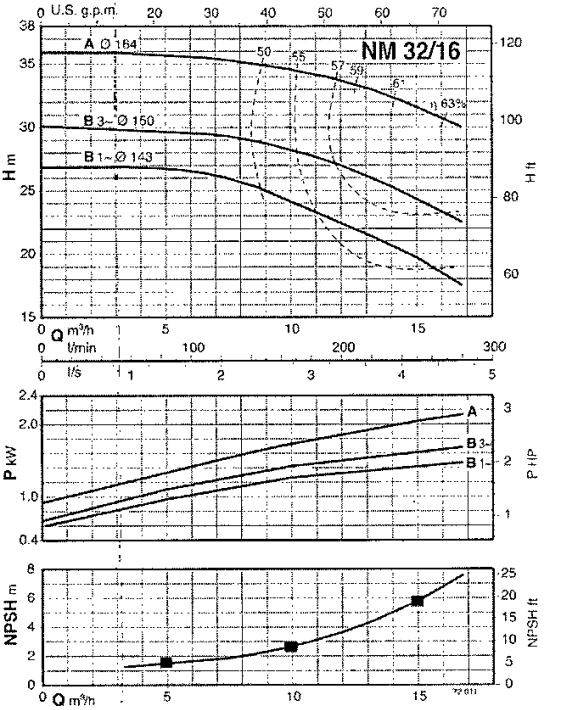
۳ـ ایجاد تغییرات در سامانه لوله‌کشی و پمپ شامل:

الف) کاهش سرعت (با افزایش قطر لوله مکش) که موجب کاهش H_f خواهد شد.

ب)کاهش $NPSH_R$ با تغییر قطر پروانه و دور پمپ: $NPSH_R$ پمپ‌های سانتریفیوژ در دبی عملکرد آنها توسط سازندگان در غالب یک منحنی ارائه می‌شود. سازندگان پمپ تلاش می‌کنند پمپ‌هایی تولید کنند که اصطلاحاً Low NPSH باشند. یعنی بتوانند با حداقل $NPSH_A$ سیال را بدون بروز کاویتاسیون مکش نمایند.

$NPSH_R$ پمپ‌ها با حرکت نقطه عملکرد پمپ به سمت راست افزایش می‌یابد. ریتم این افزایش با حرکت نقطه عملکرد پمپ به سمت راست BEP[1](محدوده جریان بالا، هد پایین) با شیب تندتری افزایش می‌یابد. برای مثال شکل ۱۵-۵ منحنی عملکرد پمپ با دور ۲۹۰۰RPM مدل NM32-160 ساخت کالپدا را نشان می‌دهد. $NPSH_R$ این پمپ در دبی ۵ متر مکعب بر ساعت (نقطه A)معادل۱/۸متر و در دبی ۱۰متر مکعب بر ساعت (نقطهB) معادل۳ متر و در دبی ۱۵ متر مکعب بر ساعت (نقطهC) معادل ۶ متر است.

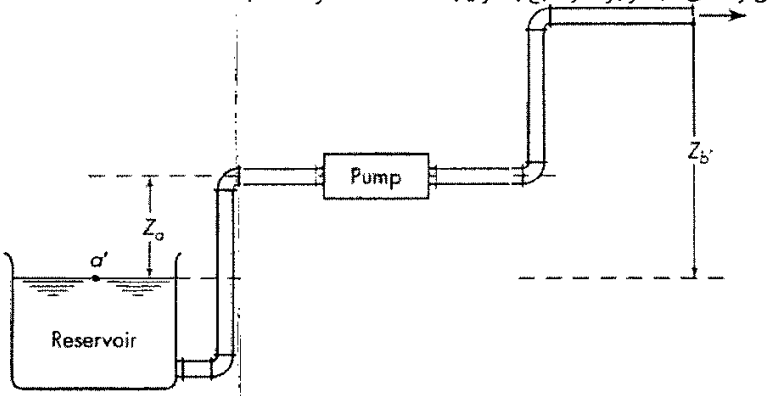
۱- BEP(BEST EFFICIENCY POINT) نقطه ماکزیمم راندمان پمپ است.



شکل ۱۵-۵: منحنی عملکرد پمپ سانتریفیوژ *RPM* ۲۹۰۰مدل *(NM32-160)*ساخت کالپدا

تمرین

مطلوبست ماکزیمم ارتفاع مکش (z_s)پمپ سانتریفوژ NM32-160دردبی‌های۵ و۱۰و۱۵ متر مکعب بر ساعت چنانچه افت هد اصطکاکی مسیر لوله‌کشی در قسمت مکش ۱/۵ متر فشار اتمسفر۱۰۱۳۲۵ پاسکال و دمای آب موجود در منبع به ترتیب ۱۵°C، ۶۰°C و ۹۰°C باشد.



حل:

در دبی ۵ متر مکعب بر ساعت

$$Z_{smax} = \frac{P_{atm}}{\gamma} - \left\{ NPSH_R + \frac{P_v}{\gamma} + h_f \right\}$$

دمای آب (°C)	P_v(Pa)	$\gamma(N/m^3)$	ماکزیمم ارتفاع مکش در دبی ۵ متر مکعب بر ساعت
۱۵	۱۷۰۰	۹۷۹۲	$Z_{Smax} = \frac{۱۰۱۳۲۵}{۹۷۹۲} - \left\{ ۱٫۸ + \frac{۱۷۰۰}{۹۷۹۲} + ۱٫۵ \right\} = ۶٫۸m$
۶۰	۱۹۹۲۰	۹۶۴۵	$Z_{smax} = \frac{۱۰۱۳۲۵}{۹۶۴۵} - \left\{ ۱٫۸ + \frac{۱۹۹۲۰}{۹۶۴۵} + ۱٫۵ \right\} = ۵٫۳m$
۹۰	۷۰۱۱۰	۹۴۶۰	$Z_{smax} = \frac{۱۰۱۳۲۵}{۹۴۶۰} - \left\{ ۱٫۸ + \frac{۷۰۱۱۰}{۹۴۶۰} + ۱٫۵ \right\} = -۰٫۷m$

در دبی ۱۰ متر مکعب بر ساعت

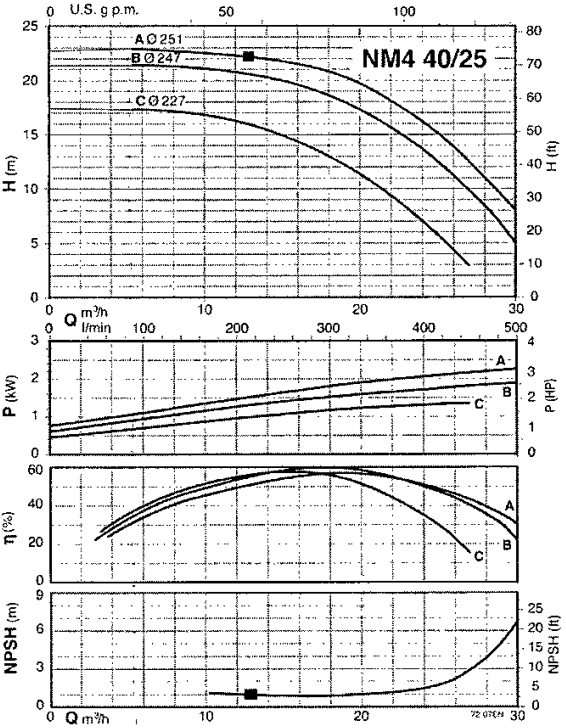
دمای آب (°C)	P_v(Pa)	$\gamma(N/m^3)$	ماکزیمم ارتفاع مکش در دبی ۱۰ متر مکعب بر ساعت
۱۵	۱۷۰۰	۹۷۹۲	$Z_{Smax} = \frac{۱۰۱۳۲۵}{۹۷۹۲} - \left\{ ۳ + \frac{۱۷۰۰}{۹۷۹۲} + ۱٫۵ \right\} = ۵٫۶m$
۶۰	۱۹۹۲۰	۹۶۴۵	$Z_{smax} = \frac{۱۰۱۳۲۵}{۹۶۴۵} - \left\{ ۳ + \frac{۱۹۹۲۰}{۹۶۴۵} + ۱٫۵ \right\} = ۴٫۱m$
۹۰	۷۰۱۱۰	۹۴۶۰	$Z_{smax} = \frac{۱۰۱۳۲۵}{۹۴۶۰} - \left\{ ۳ + \frac{۷۰۱۱۰}{۹۴۶۰} + ۱٫۵ \right\} = -۱٫۲m$

در دبی ۱۵ متر مکعب بر ساعت

دمای آب (°C)	P_v(Pa)	$\gamma(N/m^3)$	ماکزیمم ارتفاع مکش در دبی ۱۵ متر مکعب بر ساعت
۱۵	۱۷۰۰	۹۷۹۲	$Z_{Smax} = \frac{۱۰۱۳۲۵}{۹۷۹۲} - \left\{ ۶ + \frac{۱۷۰۰}{۹۷۹۲} + ۱٫۵ \right\} = ۲٫۶m$
۶۰	۱۹۹۲۰	۹۶۴۵	$Z_{smax} = \frac{۱۰۱۳۲۵}{۹۶۴۵} - \left\{ ۶ + \frac{۱۹۹۲۰}{۹۶۴۵} + ۱٫۵ \right\} = ۱٫۱m$
۹۰	۷۰۱۱۰	۹۴۶۰	$Z_{smax} = \frac{۱۰۱۳۲۵}{۹۴۶۰} - \left\{ ۶ + \frac{۷۰۱۱۰}{۹۴۶۰} + ۱٫۵ \right\} = -۴٫۲m$

مثال فوق نشان می‌دهد برای جلوگیری از بروز کاویتاسیون باید جریان و هد مورد نیاز پمپاژ را با منحنی عملکرد پمپ مطابقت داد و سپس پمپی را برگزید که در نقطه عملکرد کمترین $NPSH_R$ را داشته باشد.

برای مثال شکل۱۵-۵ منحنی عملکرد پمپ سانتریفیوژ(NM32-160) و شکل۱۵-۶ منحنی عملکرد پمپ سانتریفیوژ ۱۴۵۰RPM مدل (NM4 40-250)ساخت کالپدا را نشان می‌دهد. حال چنانچه برای انتقال آب از کندانس به دی‌اریتور به دبی۱۳ متر مکعب بر ساعت و هد ۲۲ متر احتیاج باشد هر دو پمپ توان تامین این هد و دبی را دارا می‌باشند.



شکل ۱۵-۶: منحنی عملکرد پمپ سانتریفیوژ *RPM* ۱۴۵۰مدل *(NM4 40-250)*ساخت کالپدا

اما $NPSH_R$ پمپ‌های فوق در این دبی پمپاژ به ترتیب۱ و۴ متر است. بنابراین پمپ بزرگ‌تر با دور کمتر $NPSH_R$ کمتری دارد و می‌تواند در مقابل کاویتاسون مقاومت بهتری از خود نشان دهد.

پمپ تغذیه

پمپ تغذیه دیگ بخار از نوع سانتریفیوژ و طبقاتی می‌باشد که می‌بایست توان پمپاژ آب با دمای بالا را داشته باشد. بدین منظور عموماً از پمپ‌های طبقاتی استیل ایستاده[1] استفاده می‌گردد.

پمپ تغذیه آب بویلر به ۴ روش می‌تواند نصب گردد:

۱ـ استارت استاپ on\off

۲ـ همراه با شیر کنترل Through feed valve

۳ـ همراه با شیر کنترل و دور متغییر Through feed valve and variable speed

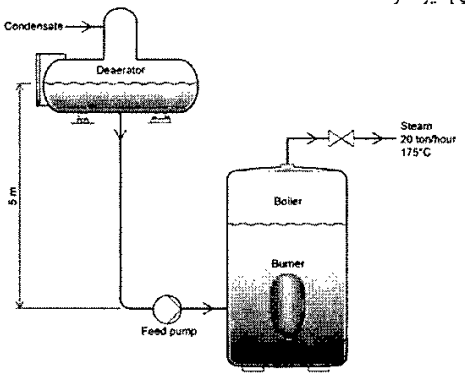
۴ـ دور متغییر Variable speed

استارت استاپ

در این روش که معمول‌ترین روش در نصب پمپ تغذیه بویلر است فرمان قطع و وصل پمپ از طریق لِوِل‌کنترل بویلر به تابلو برق بویلر ارسال شده و چنانچه سطح آب در بویلر پایین بیاید پمپ را

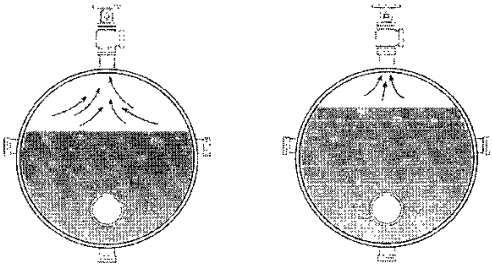
1- Vertical Multi-Stage In-Line Pumps

روشن و پس از بالا رفتن سطح آب پمپ راخاموش می‌کند. ایـن روش در کـشورمان عمومیـت داشـته در بویلرهای لوله دودی (FIRE TUBE) کاربرد وسیعی دارد. این روش به سادگی قابل اجراء اسـت و هزینـه اولیه پایینی دارد اما معایبی نیز دارد.



شکل ۱۵-۷: شماتیک نصب پمپ به روش استارت استاپ

آب داخل بویلر همواره دمایی بالاتر از آب تغذیه بویلر دارد. بنابراین ورود آب با دمای پایین و با حجمی بیشتر از میزان تولید بخار می‌تواند باعث کاهش تولید بخار بویلر شود این کاهش تولید بخار منجر به افت فشار شده و افت فشار نیز منجر به بالا رفتن سطح آب شده و در نهایت بخار خروجی از بویلر مرطوب شده و کیفیت خود را از دست می‌دهد.



شکل ۱۵-۸: بالا رفتن سطح آب با کاهش فشار

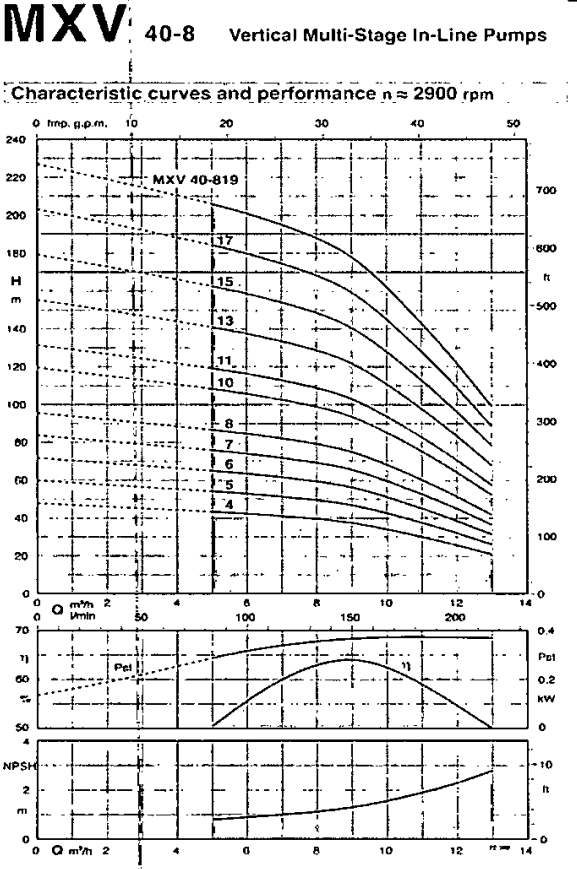
اما این اتفاق تحت شرایطی می‌تواند حادتر شود:

۱) دمای پایین آب‌تغذیه: چنانچه فشار کار بویلر۱۰bar باشد دمـای آب اشـباع در فـشار بـویلر°C ۱۸۴/۱۲۳ خواهد بود. حال چنانچه دی‌اریتور درست عمل نکند و آب تغذیه سـرد باشـد (مـثلاً°C۶۰) اخـتلاف دمـای آب تغذیه و آب داخل بویلر حدود°C ۱۲۵ خواهد بود. ورود این آب سرد بـه داخـل بـویلر مـی‌توانـد موجـب شـوک حرارتی در داخل بویلر شده و بعضاً آن را کاملاً از کار می‌اندازد.

۲) بکارگیری بویلر در فشار بسیار پایین‌تر از فشار طراحی: پمپ بویلر در زمان ساخت براساس حداکثر ظرفیت تولید بخار و فشار عملکردی دیگ به اضافه یک ضریب اطمینان بین ۱۰-۱۵٪ انتخاب و نصب می‌شود. حال چنانچه بویلری که برای تولید بخار در فشار خاصی طراحی و ساخته شده است در فشار پایین به‌کار گرفته شود نقطه عملکرد پمپ به سمت راست منحنی حرکت می‌کند.

برای مثال پمپی با دبی ۸ متر مکعب بر ساعت و هد ۱۰۰ متر، هد و دبی مورد نیاز بویلری را در بار کامل تامین می‌کند.(پمپ MXV40-810 در شکل ۱۵-۹) حال چنانچه اوپراتور دیگ‌خانه فشار بویلر را کاهش دهد و نقطه عملکرد پمپ به ۸۰ برسد دبی پمپ تا ۱۰,۵ متر مکعب بر ساعت افزایش خواهد یافت. در این نقطه علاوه بر آنکه $NPSH_R$ پمپ تغذیه افزایش می‌یابد و احتمال بروز پدیده کاویتاسیون را به‌وجود خواهد آورد دبی پمپاژ به شدت افزایش می‌یابد و حجم زیادی آب در مدت زمانی کوتاه وارد بویلر شده و همین امر سبب مرطوب شدن بخار خروجی خواهد شد.

یک راه حل توصیه نشده برای حل این مشکل تنظیم شیر تغذیه بویلر است. بدین ترتیب که در زمانی که دیگ‌بخار در بار کامل مشغول به‌کار است شیر تغذیه را با آزمون و خطا ذره ذره ببندیم تا به نقطه‌ای برسیم که پمپ تغذیه در بار کامل خاموش نشود و به طور دائم مشغول به کار باشد.(حداکثر بیکاری پمپ ۱۰٪ باشد) در این وضعیت شیر تغذیه اجازه ورود جریان آب بیش از میزان بخار تولیدی را نمی‌دهد بدین ترتیب چنانچه فشار بخار به هر دلیل افت کند شیر نیمه باز تغذیه اجازه تزریق جریان زیاد به یک باره به داخل بویلر را نمی‌دهد.



شکل ۱۵-۹: منحنی عملکرد پمپ‌های طبقاتی *DN40* ساخت کالپدا (از ۴-۱۹ طبقه)

۳) افت فشار ناشی از زیرآب زنی: زمانی که دیگ‌بخار در بار کامل مشغول به‌کار است چنانچه اوپراتور عمل زیرآب زنی را انجام دهد پمپ تغذیه علاوه‌بر آنکه آب بخار شده را باید تامین کند آب تخلیه شده از زیرآب زنی را نیز باید تامین کند. جایگزینی این حجم زیاد آب با آب تغذیه در دمای پایین‌تر خود به افت فشار بویلر می‌انجامد و در نتیجه نقطه عملکرد پمپ به سمت راست منحنی حرکت خواهد کرد در نتیجه امکان بروز کاویتاسیون تشدید شده و دبی پمپاژ افزون می‌شود و این اتفاق را تشدید می‌کند.

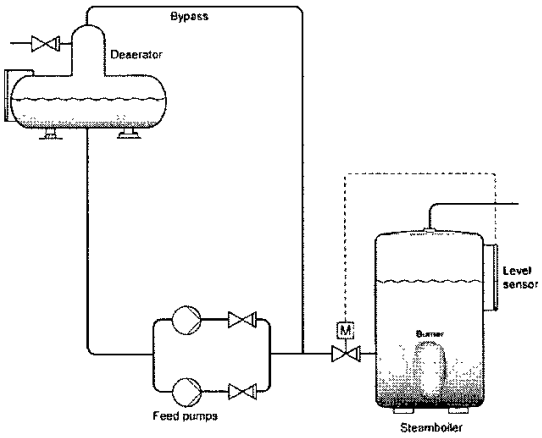
بعضاً در دیگ‌خانه‌هایی که دمای آب تغذیه کمتر از ۱۰۰درجه سانتی‌گراد است و اپراتور نیز زمان زیرآب زنی را زیاد در نظر می‌گیرد افت فشار بویلر تشدید شده و سطح آب به یک باره بالا می‌رود. در این شرایط کنترلر بویلر فرمان خاموش شدن پمپ و مشعل را صادر می‌کند و سیستم به طور کامل از کار باز می‌ایستد.

همراه با شیر کنترل

در این روش یک شیرکنترل بین پمپ و بویلر نصب می‌گردد که فرمان خود را از لول سنسور بویلر دریافت می‌کند و با توجه به میزان بخار تولیدی بویلر و سطح آب داخل بویلر میزان جریان پمپ را کنترل می‌کند. در این روش پمپ دائم کار خواهد بود و می‌بایست مسیر بای‌پاس نصب گردد.

مزایا

- آب تغذیه دقیقاً به میزان بخار تولید شده از بویلر به آن تزریق می‌شود و در نتیجه مشکل افت فشار و کاهش تولید بخار به‌وجود نخواهد آمد و کیفیت بخار را در سطح بالا نگاه می‌دارد.



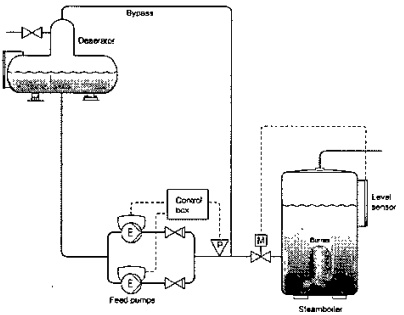
شکل ۱۵-۱۰: شماتیک نصب پمپ همراه با شیر کنترل

معایب

- هزینه اولیه بالا
- نیاز به خط بای‌پاس
- مصرف برق بیشتر به دلیل کارکرد دائم پمپ

همراه با شیر کنترل و دور متغییر

این روش مشابه روش قبل می‌باشد با این تفاوت که پمپ با دور متغییر عمل می‌نماید و بدین ترتیب در مصرف برق پمپ صرفه‌جویی می‌شود و اختلاف فشار در دو طرف شیر تغذیه را برابر نگه می‌دارد.



شکل ۱۵-۱۱: شماتیک نصب پمپ همراه با شیر کنترل و دور متغییر

دور متغییر

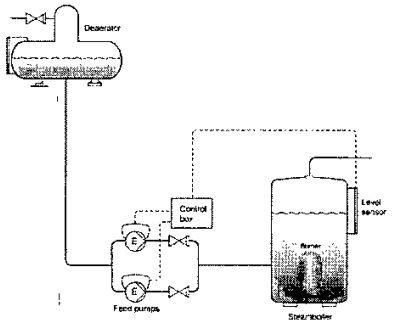
در این روش احتیاجی به شیر کنترل نمی‌باشد پمپ توسط لول سنسور کنترل شده و میزان جریان پمپ نسبت به میزان تولید بخار تغییر می‌کند.

مزایا

- صرفه‌جویی در انرژی با عملکرد دور متغییر پمپ
- عدم نیاز به شیر کنترل
- عملکرد نرم و تزریق آب به بویلر برابر با تولید بخار در بویلر

معایب

- هزینه اولیه بالا
- پیچیدگی در نصب و اجراء و تنظیم فرمان ۴-۲۰ میلی‌آمپر لول‌سنسور و کنترل دور پمپ.



شکل ۱۵-۱۲: شماتیک نصب پمپ همراه با سیستم دور متغییر

محاسبات

برای انتخاب پمپ تغذیه بویلر می‌بایست هد و دبی مورد نیاز را محاسبه کنیم و سپس با توجه به آنکه دمای آب دی‌اریتور دمای بالایی است می‌بایست NPSH را مورد توجه قرار دهیم.

دبی

برای بدست آوردن میزان جریان پمپ ابتدا میزان تولید بخار (کیلو گرم بر ساعت) را بر چگالی آب در دمای مورد پمپاژ تقسیم می‌کنیم.

به عنوان مثال دیگ بخار به ظرفیت ۱۰ تن بر ساعت با آب تغذیه ۱۰۲درجه سانتیگراد (دانسیته آب در ۱۰۲ درجه۹۵۶کیلوگرم بر متر مکعب است)

$$۱۰/۴۶m^۳ = \frac{۱۰۰۰۰kg}{۹۵۶kg/m^۳}$$

عدد بدست آمده را در ضریب اطمینان ۱,۱۵ ضرب می‌کنیم.عدد حاصل دبی پمپ خواهد بود.

به عنوان محاسبات سر انگشتی می‌توان با تقسیم BOILER HP[۱] بر ۱۰ gpm پمپ را محاسبه نمود.

جدول ۱۵-۲: آبدهی پمپ براساس *BHP*

gpm	LB/HR	BHP	gpm	LB/HR	BHP
17.5	6037.5	175	1	345	10
20	6900	200	2	690	20
22.5	7762.5	225	3	1035	30
25	8625	250	4	1380	40
30	10350	300	5	1725	50
35	12075	350	6	2070	60
40	13800	400	7	2415	70
45	15525	450	8	2760	80
50	17250	500	9	3105	90
60	20700	600	10	3450	100
75	25875	750	12.5	4312.5	125
100	34500	1000	15	5175	150

عدد بدست آمده از جدول فوق بزرگتر از عدد بدست آمده از محاسبات دقیق خواهد بود.

هد

هد پمپ از مجموع هد

- بویلر
- شیر یک‌طرفه (چک ولو)
- سوپر هیتر
- شیر کنترل
- شیر تغذیه
- افت لوله و اتصالات

بدست می‌آید.

پس از بدست آوردن هد دبی می‌توان پمپ را انتخاب نمود اما پیش از انتخاب می‌بایست کاویتاسیون

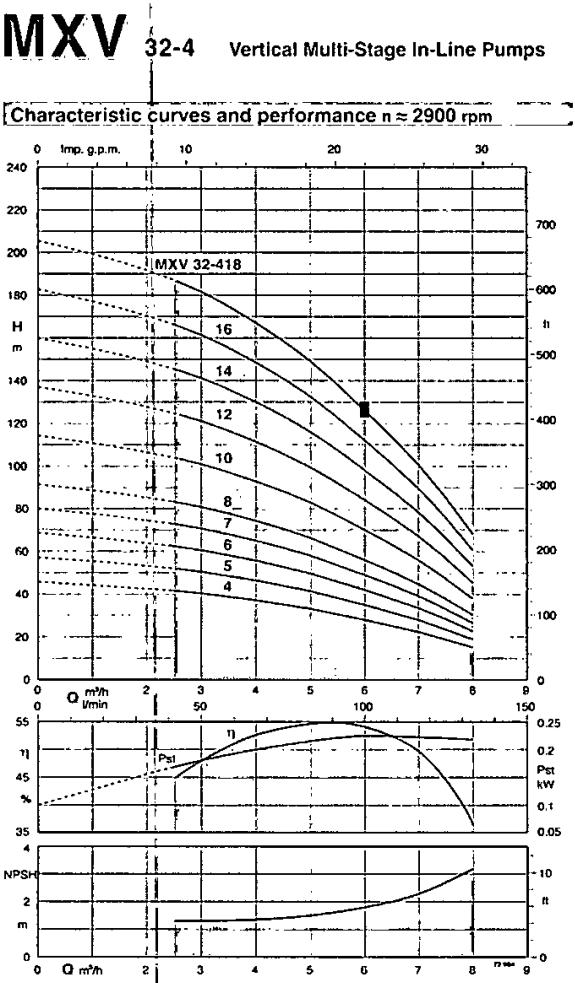
۱- BHP یا Boiler Horse Power برابر است با انرژی مورد نیاز جهت تبدیل ۳۴٫۵ پوند (۱۵٫۶kg) آب ۱۰۰ °C(۲۱۲°F) به بخاری با همین دما در ساعت.

را بررسی کرد.

تمرین

برای دیگ بخاری پمپی با دبی ۶ متر مکعب بر ساعت و هد ۱۳۰متر نیاز است با توجه به منحنی مشخصه‌های شکل۱۵-۱۳ الف و ب کدام پمپ مناسب است.

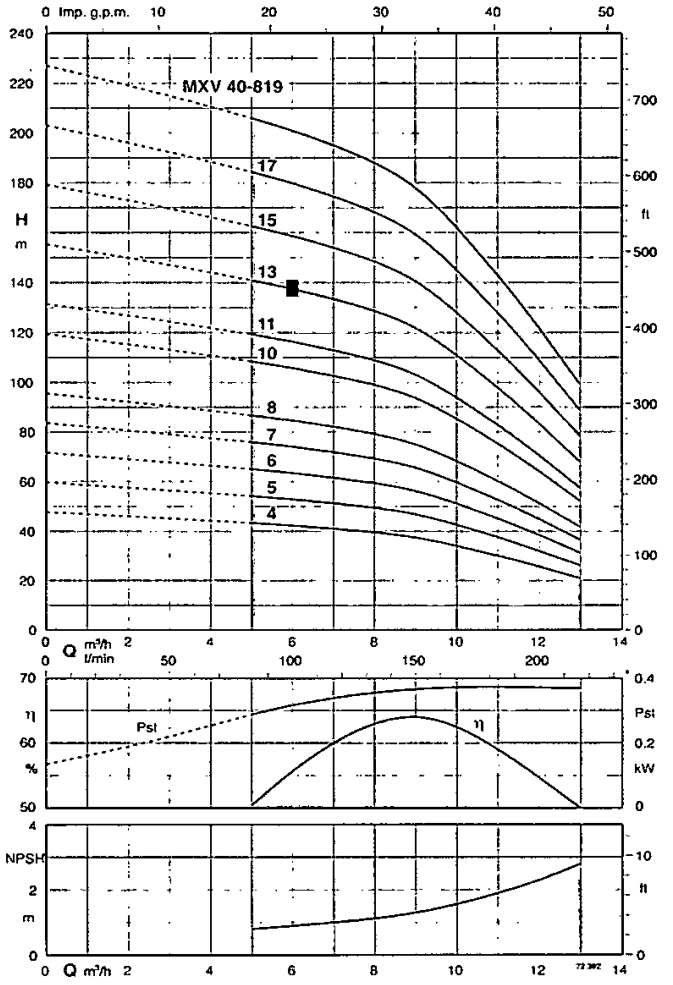
حل:



شکل ۱۵-۱۳: الف ــ پمپ *MXV32-418*
راندمان در نقطه عملکرد حدود۵۵٪
$NPSH_R$ پمپ در نقطه عملکرد حدود ۲ متر

MXV 40-8 Vertical Multi-Stage In-Line Pumps

Characteristic curves and performance n ≈ 2900 rpm



شکل ۱۵-۱۳: ب ـ پمپ *MXV40-813*
راندمان در نقطه عملکرد حدود ۵۵ ٪
$NPSH_R$ پمپ در نقطه عملکرد حدود ۱ متر

با مقایسه $NPSH_R$ پمپ MXV40813 مناسب‌تر است.

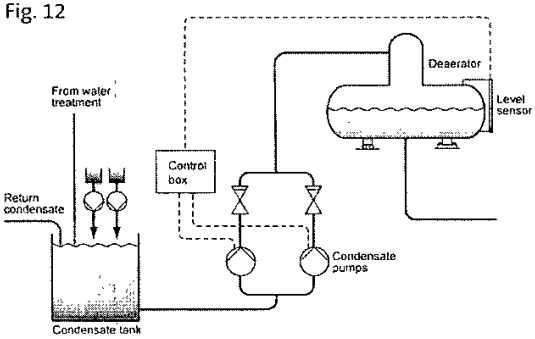
چنانچه فشار بویلر کمتر از فشار طراحی باشد عملکرد پمپ به سمت راست منحنی حرکت کرده و

میزان $NPSH_R$ افزایش خواهد یافت و ممکن است کاویتاسیون رخ دهد این اتفاق در دیگ‌هایی که سیستم بلودان اتوماتیک نداشته و اوپراتور تخلیه را انجام می‌دهد چنانچه زمان بلودان را زیاد در نظر بگیرد موجب افتادن فشار بویلر شده و پمپ در سمت راست منحنی عمل خواهد کرد و امکان بروز پدیده کاویتاسون را افزایش خواهد داد. راه حل این مشکل استفاده از سیستم بلودان اتوماتیک است.

پمپ کندانس

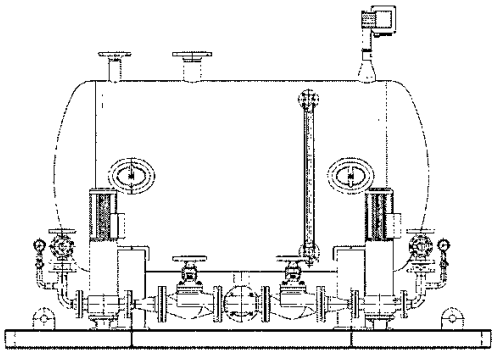
وظیفه پمپ کندانس انتقال آب از تانک کندانس (در چال کندانس)به دستگاه دی‌اریتور (نصب شده در ارتفاع) است و عموماً به صورت استارت استاپ (ON/OFF) کنترل می‌شود.

Fig. 12



شکل ۱۵-۱۴: شماتیک نصب پمپ کندانس

به دلیل دمای بالای آب در مخزن کندانس (تا۹۵درجه سانتی‌گراد)امکان مکش منفی وجود ندارد و پمپ‌ها به صورت موازی در کنار تانک کندانس (داخل چال کندانس) نصب می‌شوند. همانطور که گفتیم برای جلوگیری از بروز کاویتاسیون می‌بایست نقطه عملکرد پمپ در محدوده‌ای باشد که پمپ کمترین میزان $NPSH_R$ را داشته باشد. برای رسیدن به این هدف اولاً باید پمپی را برگزید که در هد و دبی مورد نیاز سیستم کندانس $NPSH_R$ ناچیزی داشته باشد و ثانیاً باید پمپ را به گونه‌ای به‌کار بست که نقطه عملکرد آن به سمت راست منحنی حرکت نکند. برای رسیدن به این مهم باید نقطه عملکرد پمپ را با شیر بعد از آن کنترل کرد.

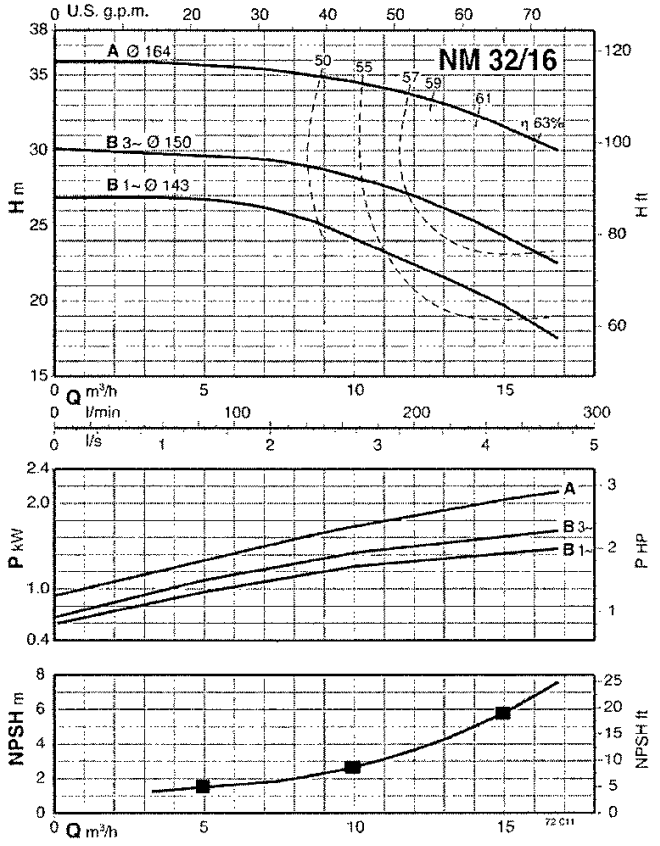


شکل ۱۵-۱۵: شماتیک نصب پمپ به تانک کندانس

شکل۱۵-۱۵ نحوه نصب پمپ به مخزن کندانس را نمایش می‌دهد که شامل شیر قبل و بعد از پمپ و یک نمایشگر فشار مابین پمپ و شیر خروجی است.

مخزن کندانس مجهز به یک کنترل سطح است که اجازه پایین‌تر رفتن آب از سطح خاصی را نمی‌دهد. این ارتفاع به عنوان حداقل هداستاتیک مکش پمپ محاسبه می‌شود.

برای مثال جهت انتقال آب از کندانس به دی‌اریتور در دیگ‌خانه‌ای به دبی ۵ مترمکعب بر ساعت و هد حدوداً ۲/۵bar احتیاج است بدین منظور پمپ کالپدا مدلNM32-16 نصب شده است. شکل۱۵-۱۶ منحنی عملکرد پمپ فوق را نمایش می‌دهد.



شکل ۱۵-۱۶: منحنی عملکرد پمپ کالپدا مدل*NM32-16*

پمپ فوق در این نقطه عملکرد $NPSH_R$ معادل ۱/۳ متر دارد. حال اگر هد ۳متر کاهش یابد و نقطه عملکرد با ۳ متر کاهش هد به نقطه ۱۰متر مکعب بر ساعت حرکت کند $NPSH_R$ معادل ۳متر خواهد شد. با کاهش بیشتر هد تا ۷ متر نقطه عملکرد به نقطه ۱۵ متر مکعب بر ساعت حرکت کرده و $NPSH_R$ معادل ۶ متر خواهد شد.

تمرین

مطلوبست محاسبه حداکثر دمای قابل مکش برای پمپ کندانس مثال فوق چنانچه حداقل هـد آب در مکش پمپ موجود در تانک کندانس۰/۵متر باشد و افت ناشی از سامانه لوله‌کشی و شیر مکش پمپ نیـز ۰/۵ متر باشد.

حل:

$$Z_{smax} = \frac{P_{atm}}{\gamma} - \left\{ NPSH_R + \frac{P_v}{\gamma} + h_f \right\}$$

$$\circ/\Delta = \frac{۱۰۱۳۲۵}{۹۴۶۰} - \left\{ ۱/۳ + \frac{P_v}{۹۴۶۰} + \circ/\Delta \right\} \Rightarrow P_v = ۷۹۵۵۹P_a$$

$$\circ/\Delta = \frac{۱۰۱۳۲۵}{۹۴۶۰} - \left\{ ۳ + \frac{P_v}{۹۴۶۰} + \circ/\Delta \right\} \Rightarrow P_v = ۶۳۴۷۷P_a$$

$$\circ/\Delta = \frac{۱۰۱۳۲۵}{۹۴۶۰} - \left\{ ۶ + \frac{P_v}{۹۴۶۰} + \circ/\Delta \right\} \Rightarrow P_v = ۳۵۰۹۷P_a$$

با مراجعه به جدول فشار بخار آب

در حالت A : $P_v = ۷۹۵۵۹P_a \rightarrow t = ۹۳^\circ C$

در حالت B : $P_v = ۶۳۴۷۷P_a \rightarrow t = ۸۷^\circ C$

در حالت C : $P_v = ۳۵۰۹۷P_a \rightarrow t = ۷۳^\circ C$

روش جلوگیری

بنابراین با کاهش هد پمپاژ و حرکت نقطه عملکرد به سمت راست منحنی احتمال بـروز کاویتاسـیون به شدت افزایش می‌یابد. زمانی که پمپ مشغول به‌کار است با توجه به آنکه ۰/۵متر فشار مثبت و۰/۵متـر افت در مکش وجود دارد می‌توان هد مکش را صفر در نظر گرفت. در این شـرایط فـشاری کـه نمایـشگر فشار بعد از پمپ نشان می‌دهد نقطه عملکرد پمپ تلقی می‌شود. این فشار در مثال فوق باید روی ۲۷متـر باشد تا پمپ با حداقل $NPSH_R$ عمل کند. حال می‌توان بـا آزمـون و خطـا ذره ذره شـیر را بـست تـا بـه نقطه‌ای برسیم که نمایشگر فشار به۲/۷ bar برسد. بدین ترتیب شیر نیمه باز خروجی اجازه حرکـت نقطـه عملکرد پمپ به سمت راست را نخواهد داد و در نتیجه کاویتاسیون اتفاق نمی‌افتد.

فصل ۱۶
نکات اجرایی

نکات اجرایی در نصب، راه‌اندازی و نگهداری دیگ‌های آب‌گرم و بخار[۱]
جانمایی بویلـــر در موتورخانه

برای عملکرد مناسب بویلرها و تجهیزات وابسته باید فضای کافی را در موتورخانـه بـه آن اختـصاص داد. این فضا باید به حدی باشد تا اپراتور دسترسی آسان به تمام گیج‌هـا، کنتـرل سـطح بـویلر، لولـه‌هـا، دودکش، اکونومایزر، شیر فلکه‌ها و کلیه تجهیزات را داشته باشد. همچنین در زمـان تعمیـر و یـا تعـویض لوله‌ها با مشکل مواجه نشود. ضوابط و استانداردهای مربوط بـه نـصب بـویلر و تجهیـزات آن در مبحـث چهاردهم مقررات ملی ساختمان موجود می‌باشد.

شکل بالا نشان دهنده کمترین فضای مورد نیاز برای دسترسـی مناسـب بـه بـویلر، بـدون توجـه بـه قسمت‌های بویلر مثل دودکش، پمپ، مخازن، ایستگاه‌های توزیع کننده، سیستم لوله‌کشی و غیـره اسـت. در نصب بویلرها با اندازه‌های متفاوت، نقشه موتورخانه باید بر مبنای طول و ارتفاع بزرگترین بـویلر باشـد. ارتفاع موتورخانه نیز باید بر طبق قوانین موجود در مقررات ملی ساختمان (مبحث چهاردهم) تعیین گردد.

فونداسیون

برای جلوگیری از نشست احتمالی بویلر در حین کار، بویلر باید از فونداسیون محکمی برخـوردار باشـد زیرا کوچک‌ترین نشست موجب ترک کلیه مواد نسوز به کار گرفته در جدار کوره و درب‌ها می‌شود. ضـمناً باعث پیچش یا تنش در لوله‌های مـرتبط بـا بـویلر مـی‌شـود کـه عواقـب خطرنـاکی بـه همـراه دارد. در موتورخانه باید سکویی، متناسب با وزن و ابعاد بویلر انتخاب گردد، این سکو باید حـداقل۱۵cm از طـول و عرض هرطرف بویلر بیشتر باشد. همچنین در اطـراف فونداسـیون بایـد کانـالی بـرای هـدایت آب کـف موتورخانه به چاه دفنی در نظر گرفته شود.

پس از آماده کردن فونداسیون با شرایط مذکور، و پیش‌بینی انگر بولت‌ها می‌توان بویلر را بـا اطمینـان خاطر نصب نمود، ولی باید توجه داشت که در دو هر جهت x، y کاملاً تراز باشد، برای تراز کردن دسـتگاه

۱- مطالب پیش‌رو وام گرفته شده از کتاب انتخاب بویلر(شرکت پاکمن)تالیف: مهندس قربانعلی میرزاده با اجـازه ایـشان است.

می‌توان از Liner با ضخامت (۵-۱۰ mm) استفاده کرد، سپس فضای ما بین شاسی بویلر و فونداسیون را با (Grout۷۵ Kg/h) پر نمود.

مهار کردن شاسی بویلر روی فونداسیون

تمام تجهیزات موتورخانه اعم از بویلر، چیلر و کلیه تجهیزات جانبی بایستی در هر سه جهت z ،y ،x مهار شوند به‌طوری که در موقع زلزله تجهیزات فوق‌الذکر نسبت به فونداسیون صددرصد فیکس شده باشند.

اگرچه بویلر روی پایه تحویل داده می‌شود ولی فونداسیون برای بویلر ضروری است.

خلاصه‌ای از مبحث چهاردهم مقررات ملی ساختمان

نکاتی در مورد نصب و جانمایی بویلر و تجهیزات مربوطه در موتورخانه‌ها که در مبحث چهاردهم مقررات ملی ساختمان موجود می‌باشد:

۱ – نصب بویلر آب‌گرم و بخار باید طبق دستورالعمل‌های سازنده صورت گیرد.

۲ – سیستم کنترل دستگاه باید توسط نصب‌کننده تنظیم و آزمایش شود.نصب‌کننده باید نسخه کامل دیاگرام کنترل دستگاه را، همراه با دستورالعمل بهره‌برداری، تحویل دهد.

۳ – دستگاه باید روی فونداسیون مسطح و مقاوم برای تحمل وزن در حال کار دستگاه و توزیع این وزن روی فونداسیون، سوار شود. فونداسیون زیر دستگاه باید از جنس نسوز باشد.

۴ – دستگاه باید به طور اطمینان بخش و پایدار به اجزای سازه ساختمان مهار شود.

۵ – اگر دستگاه لرزش داشته باشد باید زیرپایه‌های آن لرزه‌گیر مناسب در برابر لرزش دستگاه و مورد تأیید نصب شود.

۶ – اتاقی که دستگاه در آن نصب می‌شود باید کفشوی و یا هر دهانه تخلیه بویلر، مناسب برای تخلیه آب دستگاه و مورد تایید، داشته باشد.

فاصله اطراف دستگاه

۱ – به منظور بازرسی، سرویس، تعمیر، تعویض و مشاهده لوازم اندازه گیری، باید در اطراف دستگاه فاصله کافی پیش‌بینی شود.

۲ – راه عبور بدون مانع در اطراف دستگاه نباید از ۵۰cmکمتر باشد.

فاصله ایمنی بالای دستگاه

۱ – فاصله بالای بویلر آب‌گرم، از نوع یک پارچه، بدون دریچه آدم‌رو روی پوسته بالای آن، با ظرفیتی بین مقادیر۱۲۵۰ ۰۰۰ Kcal/h، ۵,۰۰۰,۰۰۰Btu/h از سقف نباید کمتر از ۶۰cm باشد.

۲ – فاصله بالای بویلر بخار، از نوع یک پارچه، بدون دریچه آدم‌رو روی پوسته بالای آن، با ظرفیتی کمتر از ۲۲۶۸ Kg/h بخار یا ۹۳m² سطح حرارتی، از سقف نباید کمتر از ۶۰cm باشد.

۳ – فاصله بالای بویلر آب‌گرم یا بخار، با دریچه آدم‌رو روی پوسته بالای آن، با ظرفیتی از یکی از مقادیر مندرج در بند ۱ از سقف نباید کمتر از ۹۰cm باشد.

۴ – فاصله بالای بویلر بخار پرفشار با ظرفیتی بیشتر از یکی از مقادیر مندرج در بند ۱ از سقف نباید کمتر از ۹۰cm باشد.

۵ – فاصله بالای بویلر بخار کم فشار و میان فشار و بویلر آب‌گرم، با ظرفیتی بیشتر از یکی از

مقادیر مندرج در بند ۱ از سقف نباید کمتر از ۹۰ cm باشد.

۶ – فاصله بالای بویلر بخار پرفشار، با ظرفیتی بیشتر از یکی از مقادیر مندرج در بند ۱ از سقف نباید کمتر از ۲۱۵ cm باشد.

۷ – مخزن انبساط باید در محل نصب، به کمک پایه، آویز و بست‌هایی مناسب، به اجزای ساختمان مهار شود و در وضعیت پایدار و مستقر قرار گیرد.

۸ – مخزن انبساط باز باید در ترازی نصب شود که سطح آب داخل آن، در وضعیت کار عادی سیستم، دست کم ۱۲۰ cm از بالاترین اجزای سیستم گرمایی بالاتر باشد.

۹ –کنترل دمای حدبالا و کنترل سطح‌پایینی آب در این بویلرها باید در محلی و به ترتیبی نصب شود که عملیات آزمایش، سرویس و تعویض این کنترل‌ها، بدون تخلیه آب سیستم، امکان‌پذیر باشد.(این شرط در مورد ساختمان‌های مسکونی کوچکتر از ۶ واحد لازم نیست رعایت شود.)

۱۰ – بین بویلر یا مخزن تحت فشار و شیر اطمینان نباید هیچ نوع شیری نصب شود.

۱۱ – روی لوله تخلیه بعد از شیر اطمینان نباید هیچ نوع شیری نصب شود.

دستور العمل، نگهداری بویلر آب‌گرم

برنامه روزانه نگهداری دیگ آب‌گرم(عملیاتی که باید در هر شیفت انجام گیرد)

تنظیمات سوئیچ‌های دمای آب رفت و برگشت به دیگ و دمای دودکش را مطابق ترمومترهای هر قسمت کنترل نمایید.

شیر تخلیه دیگ را باز کنید و اجازه دهید تخلیه برای مدت چند ثانیه انجام شود. این عمل جهت کاستن املاح موجود در آب میباشد.

شیشه بازدید شعله در عقب دیگ را باید در صورت کثیف بودن تمیز نمود.

شعله زیاد (HIGH) و شعله کم (LOW) را باز دید کنید.

اجزاء مشعل را تمیز نگهدارید و روغن‌های نشتی را روزانه تمیز و محل نشت را آب‌بندی نمایید.

با نمونه گیری از آب تغذیه اطمینان حاصل کنید سختی آب از حد مجاز تجاوز نکند.

عملکرد کنترل‌کننده سطح آب منبع انبساط را کنترل نمایید.

برنامه هفتگی نگهداری دیگ آب‌گرم

عملکرد صحیح کلیه علائم خبری دیگ شامل زنگ‌ها و چراغ‌های هشدار دهنده را بررسی نمائید.

فیلتر سوخت و صافی پمپ را بازدید نموده و در صورت نیاز تمیز کنید.

وقتی که مشعل در حال کار است چشم الکترونیکی را از جای خود خارج کنید، باید بلافاصله شعله قطع و علائم هشدار دهنده شروع به کار نمایند. بدین ترتیب مدار کنترل شعله بررسی می‌گردد.

چشم الکتریکی را با پارچهٔ نرم و تمیز پاک کرده و در جای خود قرار دهید.

الکترودهای جرقه‌زن و نازل پاشش سوخت را کنترل کنید در صورت مشاهده رسوب آنها را پاک نمائید.

اتصالات دمپر هوا و سوخت را کنترل کنید.

با کشیدن اهرم شیر اطمینان عملکرد آنرا بررسی نمایید.

برنامه ماهانه نگهداری دیگ آب‌گرم

یاطاقانهای پروانه را گریسکاری کنید.
موتورهای الکتریکی را طبق دستور العمل کارخانه سازنده روغنکاری کنید.
پمپ را از نظر نشتی و ایجاد سر و صدا بررسی کنید.
صافی سوخت را بازدید کرده و در صورت نیاز با گازوئیل شستشو نمایید.
صافی پمپهای چرخش آب را باز کرده و در صورت نیاز رسوبات و گرفتگی احتمالی را رفع و صافیها را کاملاً تمیز نمایید.
کلیه اتصالات و شیر آلات را از نظر نشتی کنترل کرده در صورت اشکال آنها را رفع عیب نمایید.

برنامه فصلی نگهداری دیگ آب‌گرم

۱- مشعل را کاملاً تمیز کرده و از نظر نشتی کنترل نمائید .
۲- لوله‌های پاس ۲و۳ را در صورت وجود دوده در داخل لوله‌ها توسط برس مخصوص تمیز نمائید.
۳- دریچه‌های آدم‌رو و دست‌رو را باز کرده، داخل دیگ را از نظر رسوب و زنگ‌زدگی بازدید نمائید.
تذکر: موارد۲ و ۳ را در اولین فصل کاری دیگ انجام دهید. در ادامه نسبت به مدت زمان کارکرد دیگ می‌توان برنامه‌ریزی کرد که در چه فاصلهٔ زمانی لوله‌ها، و داخل دیگ احتیاج به بازدید دارند و در چه زمان‌هایی عملیات دوده زدایی، رسوب زدایی و نظافت باید صورت گیرد. ولی باید درنظر داشت که حداکثر زمان تمیز کاری لوله‌ها بیش از شش ماه نباشد(سوخت مایع) چون با تمیز نگه داشتن لوله‌ها راندمان دیگ بیشتر خواهد بود. چنانچه سطوح لوله‌ها برای مدت طولانی تمیز نشود علاوه بر پائین آمدن ظرفیت اسمی دیگ، عمر لوله‌ها نیز کاهش می‌یابد.

روش‌های تمیزکاری بویلر آب‌گرم

با باز کردن درب‌های جلو و عقب می‌توان به تمام لوله‌ها دسترسی پیدا کرد و از جلوی دیگ با برس مخصوص داخل لوله‌ها را از رسوبات دوده پاک کرد.پس از تمیزکردن رسوبات و دوده‌هایی که در محفظه احتراق جمع شده‌اند با برداشتن درب مدور عقب می‌توان به جعبه دود عقب نیز راه یافت و دوده‌ها یا رسوبات دودهایی که آنجا جمع شده‌اند را پاک نمود.
برای نصب مجدد دربهای جلو و عقب به آب‌بندی بودن آنها باید توجه داشت و در هر بار که درب‌ها را باز می‌کنید اگر به اتصالات و نوار نسوز دور درب صدمه‌ای رسید آنها را تعمیر و یا تعویض نمائید.

خاموش کردن بویلر برای مدت طولانی

می‌توان جهت خاموش کردن دیگ برای مدت طولانی به یکی از دو طریق زیر عمل کرد:
۱- روش خشک‌کردن دیگ
وقتی دیگ را خاموش کردید لوله‌ها، صفحات لوله‌گیر تیوپ پلیت، کوره و تمام سطوحی که با حرارت و گاز تماس دارند باید از دوده‌های احتراق تمیز شوند. بعد از تخلیه آب و نیم‌گرم شدن دیگ، آب دیگ را تخلیه کرده و دریچه‌های منهول و هندهول و مدهول را باز نموده و گل و لای و رسوبات و جرم‌ها را خارج نمایید و داخل دیگ را کاملاً تمیز کنید. بایستی سعی شود که داخل دیگ کاملاً خشک شود و رطوبت آن هر چه ممکن است گرفته شود. شیرهای خروج هوا و تخلیه دیگ را باز کنید و سپس با

استفاده از مواد شیمیایی مناسب (رطوبت گیر) در طول خاموش بودن دیگ از زنگ زدن و اکسید شدن بخشهای داخلی جلوگیری نمائید.

در طول مدت خاموشی دیگ بایستی در عرض هفته دو یا سه بار موتورها را بچرخانید تا محور موتورها به مدت طولانی در یک وضعیت ثابت قرار نگیرد.

۲- روشی که دیگ آب‌گیری شده باشد.

وقتی دیگ آب‌گیری شده باشد دیگ را خاموش کرده و سعی شود که حبابهای داخلی وجود نداشته باشد. آب دیگ هر هفته یک بار آزمایش شود و مواد شیمیایی ذخیره برای تصفیه آب در تمام مدت جهت جلوگیری از اکسیداسیون تزریق شود. همچنین ضروری است هر روز یک بار شیرهای آب را باز کرده و دیگ برای مدت ۱۰ الی ۱۵ دقیقه با شعله زیاد کار کند.

دستورالعمل نصب، نگهداری و راه‌اندازی بویلر بخار

برای استفاده بهینه از بویلرها، اپراتور باید، با بخش‌های مختلف بویلر و همچنین عملکرد مخصوص هرکدام از آن‌ها کاملاً آشنا باشد.

قسمت بیرونی:

بدنه: روکش بدنه از جنس استنلس استیل بوده و قابل شستشو و تمیز کردن می‌باشد.

مشعل: مشعل می‌تواند یکی از چهار مدل زیر باشد:

گاز سوز، گازوئیل سوز، مازوت سوز، دو گانه سوز

قبل از راه‌اندازی مشعل کاتالوگ باید مطالعه شود.

پمپ: در مسیر ورودی پمپ تغذیه حتماً صافی پیش‌بینی شود.

شیرآلات: شیرآلات شامل شیرتغذیه، شیرتخلیه، آبنما، شیراطمینان، خروجی بخار، شیر یک‌طرفه شیر ونت می‌باشد.قبل از راه‌اندازی، اپراتور باید تمام شیر آلات را مطابق نقشه چک کند و شیرآلات زیر پرشر سوئیچ را باز کند .

کنترلرها و نشان دهنده‌ها: شامل پرشر سوئیچ، لول کنترل، مانومتر، ترمومتر می‌باشد.

تابلو برق: جهت کنترل و فرمان اجزای مختلف بویلر.

فونداسیون: قبل از نصب بویلر باید فونداسیون مناسب با ابعاد شاسی بویلر پیش‌بینی شده باشد.

دودکش: قبل از راه‌اندازی، دودکش با ارتفاع مناسب و کلاهک نصب شده باشد.

دستورالعمل راه‌اندازی سیستم

پس از نصب بویلر روی سکوی مربوطه و انجام مراحل تاسیساتی، عمل راه‌اندازی به شرح زیر صورت می‌گیرد:

درب پوشش دریچه آدم‌رو را بردارید، داخل بویلر را از نظر جرم و اشیاء خارجی بررسی نمایید. دریچه آدم‌رو را دوباره بسته و اطمینان حاصل کنید که دریچه‌ها محکم بسته شده‌اند. قطعات و محفظه‌های ورودی جلویی و عقبی پیچ و مهره‌های مربوط به کلیه متعلقات نصب شده روی دستگاه (اعم از شیرآلات، پمپ، مشعل و ...) را مورد بازرسی دقیق قرار داده، که محکم بوده و هنگام حمل و نقل شل نشده باشند و در صورت لزوم آچارکشی نمایید.

تمام اتصالات الکتریکی را کنترل کنید که کاملاً محکم باشند.

شیر هواگیری بالای بویلر را برای جلوگیری ازمحبوس شدن هوا کاملاً باز کرده تا هوا خارج شود.
شیر اصلی بخار را ببندید و اطمینان حاصل کنید که شیرهای آبنما و شیر تغذیه آب باز و شیر تخلیه بسته باشد. شیر کنترل تغذیه از منبع آب باید باز باشد. دقت کنید، شیرهای مربوط به کنترل کننده‌های سطح آب که در جهت عکس حرکت عقربه‌های ساعت باز می‌شوند حتما در حالت باز قرار گرفته باشند.
از سالم بودن فیوزها به وسیله اهم‌متر اطمینان حاصل کنید.
از نظر اتصال بدنه بازبینی نمایید که کلیه کلیدها در حالت خاموش باشند.
در صورت سالم بودن فیوزها، در اولین مرحله فیوز کنترل مدار فرمان را در جایگاه خود قرار داده و کلید اصلی تابلو را وصل کنید. دراین حالت چراغ مربوط به دومین کم آبی روشن شده و زنگ شروع به صدا می‌کند. کلید قطع صدا را فشار داده تا صدای زنگ قطع گردد. سپس مدار فرمان کنتاکتور پمپ آب را کنترل نمایید. در صورتی که مدار بدون اشکال باشد کلید اصلی تابلو برق را روی حالت خاموش قرار داده، برق را از تابلو قطع نموده و پس از قرار دادن فیوزهای مدار قدرت پمپ، مجدداً برق را وصل کنید. باید توجه داشت که کلید پمپ روی حالت خاموش و پمپ هواگیری شده باشد.
سپس با یک لحظه روشن کردن پمپ دور آن را کنترل نمایید. جهت آن بایستی عکس حرکت عقربه‌های ساعت باشد. اگر دور موتور صحیح بود پمپ را روشن کرده و بویلر را آب‌گیری نمایید. برای تنظیم مقدار آب بایستی قبل از آبگیری شیشه آب‌نما را مدرج نمود.
نخست داخل بویلر را با آب تمیز تحت فشار شستشو داده و سپس آنرا، با آب سختی گیری شده(نرم) آبگیری کنید.
شیر تخلیه آب بویلر را باز کنید تا سطح آب پایین آمده و پمپ به صورت اتوماتیک روشن شود. سپس پمپ را توسط کلید مربوطه خاموش نموده تخلیه آب بویلر را ادامه دهید تا سطح آب به علامت اولین کم‌آبی برسد. بلافاصله شیر تخلیه را بسته ، مجدداً یونیت سوییچ واقع در کنترل کننده سطح را برای این حالت تنظیم نمایید تا چراغ مربوطه روشن شده و زنگ شروع به‌کار نماید. صدای زنگ را توسط کلید مربوطه قطع نمایید ولی چراغ هشدار دهنده اولین کم آبی همچنان روشن می‌ماند. مجدداً شیر تخلیه را باز کرده و سطح آب را پایین بیاورید تا وقتی که سطح آب به علامت دومین کم آبی برسد. سپس شیر تخلیه را بسته و یونیت سوییچ مربوطه را تنظیم نمایید. در این مرحله چراغ مربوط به دومین کم آبی روشن شده و زنگ شروع به کار می‌نماید. توسط کلید ذکر شده مجدداً زنگ را از کار انداخته و جهت باز بینی، کار را به قرار زیر ادامه دهید.
پمپ را با قرار دادن کلید روی حالت خودکار روشن کرده و بویلر را آبگیری نمایید. وقتی که سطح آب به حد خاموش شدن که قبلاً تنظیم گردیده بود رسید پمپ باید به صورت خودکار خاموش شود.
شیرهای مسیر رفت و برگشت سوخت را باز کرده و پمپ سوخت را هواگیری کنید. باید حدوداً به مقدار ۲ لیتر سوخت خارج شود تا اینکه مطمئن شوید مسیر سوخت کاملاً پر می‌باشد.
هرگز نباید موتور مشعل را قبل از هواگیری روشن نمود ولی برای تسهیل کار می‌توانید موتور را به وسیله دست بچرخانید. کنترل کنید که فتوسل(چشم الکتریکی)در جای خود به‌طور صحیح قرار گرفته باشد. همچنین درب مشعل جهت اطمینان از محکم بودن و کلیه اتصالات از نظر اتصال و صحیح بودن کنترل شود. بعد از اطمینان از اینکه کلیه فیوزها سالم می‌باشند آنها را در جای خود قرار داده و با یک لحظه استارت، دور موتورها را کنترل کنید در صورتی که دور آنها صحیح بود بویلر را روشن نمایید.
کلیه مراحل مورد نیاز برای روشن شدن بویلر در زمان‌های معین و شاخص، از تایمر که در داخل تابلو برق نصب گردیده است فرمان می‌گیرند.

بعد از قرار دادن کلید مشعل (BURNER ON-OFF) روی حالت روشن (ON) موتور دمنده و مشعل شروع به کار می‌کنند. چند ثانیه بعد دمپر دمنده شروع به باز شدن نموده و با هوای کامل (HIGH) کار می‌کند و سپس دمپر به حالت(LOW) برمی‌گردد. سپس مدار جرقه که توسط یک ترانس افزاینده و شمع‌های مربوطه و شیر سلونوئیدی گاز شعله افروز(PILOT) کامل می‌شود وارد عمل شده و ایجاد جرقه مناسب می‌نماید. سپس سوخت و جرقه به طور هماهنگ برای چند ثانیه کار میکنند. بعد از آن جرقه از مدار خارج شده و شعله پایدار خواهد شد. فتوسل شعله را کنترل کرده در صورتی که شعله نباشد دستور خاموش شدن و اخطار توسط آژیر و چراغ اخطار(LOCK OUT)را صادر می‌نماید که مسئول بویلر موظف است جهت رفع آن اقدام مقتضی به عمل آورد. بعد از پایدار شدن شعله و فرمان ادامه کار توسط فتوسل ، چراغ شعله طبیعی (NORMAL FIRING) روشن خواهد شد.

چنانچه کلیدتنظیم شعله کم یا زیاد(MODULATION HAND/AUTO) روی حالت دستی و پتانسیومتر مربوط به میزان احتراق (FIRING RATE)روی حالت زیاد (HIGH) باشد به محض نرمال شدن شعله، موتور دمپر شروع به کار کرده و سوخت و هوا را زیاد نموده و به این ترتیب شعله زیاد (HIGH) می‌شود. در این مرحله چون بویلر سرد است نبایستی با حرارت بالا یا شعله زیاد کار کند از این رو باید قبلاً کنترل شده باشد که کلید تنظیم شعله روی حالت دستی و پتانسیومتر هم روی حالت کم باشد تا بدنه و آب بویلر با شعله کم گرم شود و بخار از شیر هواگیری بالای بویلر بیرون بیاید. وقتی بویلر کاملاً از هوا تخلیه شد می‌توان شیر هواگیری را بست. سپس اگر شعله به حالت زیاد برود اشکالی ندارد(توصیه می‌شود که برای بار اول بویلر با شعله زیاد کار نکند) در اثر گرم شدن بویلر، حجم آب زیاد می‌شود که می‌توان با باز کردن شیر تخلیه، آب بویلر را در حد متعارف نگه داشت.

دستورالعمل بازرسی و نگهداری

عملیاتی که باید در هر نوبت کاری انجام گرد(برنامه روزانه)

شیر ورودی آب به داخل شیشه‌های آبنما را ببندید و شیر تخلیه آن را باز نمایید، بخار باید به سرعت از شیشه‌ها عبور نماید. اجازه دهید برای چند ثانیه بخار خارج شود. شیر تخلیه آبنما را ببندید و شیر ورودی آن را باز کنید آب باید به سرعت داخل شیشه‌های آبنما گردد. اگر این عمل به‌کندی انجام گرفت یکی از مجراها گرفته شده است که باید در اولین فرصت رفع اشکال شود.

شیر تخلیه بویلر بخار را باز کنید و اجازه دهید تخلیه برای مدت چند ثانیه انجام شود(این عمل جهت کاستن املاح موجود در آب می‌باشد)

در صورت نیاز دستگاه سختی‌گیر را احیاء کنید.

تانک تزریق مواد شیمیایی را کنترل کنید.

شیشه بازدید شعله در عقب بویلر را باید در صورت کثیف بودن تمیز نمود.

شعله کم (LOW) و شعله زیاد (HIGH) را بازدید کنید.

فنجانک (CPU) مشعل را روزانه به وسیله پارافین یا گازوییل و پارچه تمیز کنید.

تمیز کردن فنجانک یا پودر کننده سوخت توسط لبه تیز یا ابزار نوک تیز اکیداً ممنوع است و در صورت تکرار، فنجانک از تعادل خارج می‌شود و باید آن را تعویض نمود.

اجزاء مشعل را تمیز نگه‌دارید و روغن‌های نشت نموده را روزانه تمیز و محل نشت را آب‌بندی نمایید.

برنامه هفتگی بویلرهای بخار

اتصالات دمپر هوا و سوخت را کنترل کنید.

علائم خبری بویلر را از قبیل آلارم‌ها و لامپ‌ها را، کنترل کنید.
فیلتر سر راه صافی پمپ تغذیه را کنترل نموده و در صورت نیاز آن را تمیز کنید.
وقتی که مشعل در حال کار می‌باشد چشم الکترونیکی را از جای خود خارج کنید. شعله باید بلافاصله قطع و چراغ اخطار روشن و آژیر شروع به کار نماید. بدین ترتیب مدار کنترل شعله بررسی می‌گردد.
چشم الکتریکی را با پارچه‌ای نرم و تمیز پاک کرده و در جای خود قرار دهید .
الکترودهای جرقه زن و فنجانک سوخت (CUP) را کنترل و در صورت مشاهده رسوب آن‌ها را پاک نمایید.
در صورت داشتن جعبه دنده روغن روی مشعل سطح روغن را بازدید و در صورت کثیف بودن، بعد از خاموش کردن مشعل آن را تعویض نمایید.

برنامه ماهانه بویلرهای بخار

یاطاقان‌های پروانه دمنده را گریسکاری کنید.
موتورهای الکتریکی را طبق دستورالعمل کارخانه سازنده روغنکاری کنید.
پمپ تغذیه را از نظر نشت و ایجاد سر و صدا بررسی کنید.
صافی سوخت را بازدید کرده و در صورت نیاز با گازوییل شستشو نمائید.
صافی پمپ آب را باز کرده و در صورت نیاز رسوب ها و گرفتگی احتمالی را رفع و صافی را کاملاً تمیز نمائید.
کلیه اتصالات و شیرها را از نظر نشت کنترل کرده در صورت اشکال آنها را رفع عیب نمائید.

برنامه شش ماهه بویلرهای بخار

مشعل را کاملاً تمیز کرده و از نظر نشت کنترل نمایید.
لوله‌های گذر دو و سه را توسط برس مخصوص(در صورت وجود دوده در داخل لوله‌ها) تمیز نمایید.
دریچه‌های آدم رو و دست رو را باز کرده داخل بویلر را از نظر رسوب و زنگ زدگی بازدید نمایید.
تذکر: موارد ۲ و ۳ را در اولین فصل کاری انجام دهید و بعد بسته به میزان بهره‌برداری از بویلر، برای انجام آن‌ها می‌توان برنامه ریزی کرد، یعنی می‌توان تعیین کرد که باید در چه فاصله زمانی لوله‌ها، و در چه فاصله زمانی داخل بویلر را بازدید کرد.ولی باید در نظر داشت که حداکثر زمان تمیز کاری لوله ها بیش از سه ماه نباشد چون با تمیز نگه داشتن لوله ها بازدهی بویلر بیشتر خواهد بود. چنانچه سطوح لوله برای مدت طولانی تمیز نشود علاوه بر پایین آمدن ظرفیت اسمی بویلر، عمر لوله‌ها نیز کاهش می‌یابد.

محفظه احتراق

با باز کردن درب‌های جلو و عقب بویلر می‌توان به تمام لوله‌ها دسترسی پیدا کرد. از جلوی بویلر، با برس مخصوص داخل لوله‌ها را از رسوب و دوده پاک کنید. رسوب و دوده معمولاً در پشت بویلر جمع می‌شوند. دوده و رسوب مربوط به پاس دوم لوله‌ها در محفظه برگشت و دوده پاس سوم لوله‌ها در جعبه دود عقبی جمع خواهد شد. این رسوب‌های دوده‌ای به سادگی می‌توان از بین برد. با بازکردن دریچه انفجار می‌توان به درون این محفظه راه یافت و دوده یا رسوب‌های دوده‌ای را که آنجا جمع شده است تمیز و از داخل جعبه دود عقب می‌توان دوده و رسوب‌های دوده را که در آن محل جمع شده‌اند بیرون آورده و کاملاً پاک نمود. برای نصب مجدد درب‌های جلو و عقب کلیه نوار نسوزها، باید تعویض گردد.

دستورالعمل عیب‌یابی:

عیوبی که ممکن است در حین اجرا رخ دهد	رفع عیب
بویلر آبگیری نمی‌کند	کلید پمپ روی حالت روشن نباشد. آب منبع تغذیه بویلر تخلیه شده باشد. شیر تغذیه آب که روی منبع نصب شده است بسته باشد. صافی آب رسوب گرفته یا کثیف شده باشد. پمپ آب هوا گرفته باشد. دور موتور پمپ بر عکس باشد. اتصالات روی پایانه پمپ صحیح یا محکم نباشد. شیر تغذیه ورودی آب به بویلر بسته یا یا اشکال داشته باشد. دستگاه کنترل کننده سطح آب اشکال داشته باشد. اتصالات الکتریکی دستگاه کنترل کننده سطح آب صحیح یا محکم نباشد. شناور گیر کرده باشد. شیر زیر دستگاه کنترل کننده سطح آب باز نباشد. (در بویلرهای با ظرفیت بالا) کنتاکتور پمپ آب اشکال داشته باشد. اتصالات صحیح نباشد. رله اضافه بار مربوطه عمل کرده باشد. فیوز در مدار قدرت پمپ سوخته باشد.
مشعل شروع به کار نمی‌کند	کلید مشعل روی حالت روشن نباشد. فیوز در مدار سوخته باشد. کنتاکتور مربوطه اشکال داشته باشد. بویلر در وضعیت (LOCK OUT) باشد. چشم الکتریکی در معرض نور قرار گرفته باشد. رله اضافه بار مربوطه عمل کرده باشد. اتصالات به‌طور کلی محکم نباشد. درب مشعل محکم بسته نشده باشد. مدار الکتریکی اشکال داشته باشد. شیرهای مسیر سوخت بسته باشد
جرقه تولید نمی‌شود.	الکترودهای جرقه کثیف است. الکترود جرقه شکسته است. تنظیم الکترودها غلط است. اتصالات کامل نیست. ترانسفورماتور جرقه خراب است.
مشعل در حین کار خاموش می‌شود.	سوخت تمام شده است . دمپر هوا گیرکرده است. نسبت هوا و سوخت صحیح نیست.

عیوبی که ممکن است در حین اجرا رخ دهد	رفع عیب
مشعل در حین کار خاموش می‌شود	اشکالی در مسیر سوخت پیش آمده است. پمپ سوخت از کار افتاده است. آب داخل سوخت نفوذ کرده است. در صورت استفاده از مازوت، سوخت سرد شده است. اتصالات الکتریکی شل شده است. پمپ سوخت هوا کشیده است. برای شیر برقی سوخت اشکالی پیش آمده است. در تناسب سوخت و هوا اشکالی پیش آمده است. چشم الکتریکی دارای اشکال شده است. برق قطع شده است. فیوز کنترل کننده مدار فرمان سوخته است.
شعله دود می‌کند.	تناسب سوخت و هوا صحیح نیست. در صورت استفاده از مازوت، دمای سوخت کم است. فشار سوخت زیاد است. لوله‌های گذر دو و سه کثیف شده است. در مسیر دودکش اشکال پیش آمده است.
مشعل دائماً خاموش و روشن می‌شود.	بار بویلر نسبت به اندازه و ظرفیت آن کم است. نشت لوله‌های مسی باعث اختلال کار در کلیدهای فشاری شده است. کلیدهای فشاری معیوب شده است. درب مشعل محکم بسته نشده است.
موتورهای مشعل و دمنده کار می‌کنند ولی شعله ایجاد نمی‌شود.	اتصالات صحیح یا محکم نباشد. کلیدهای فشاری هوا عمل نکرده باشند. میکرو سوئیچ‌های مسیر دمپر هوا و سوخت عمل نکرده باشند. منبع سوخت تخلیه شده باشد. سوخت سرد است یا ترموستات خراب شده است. (در فصل زمستان و یا زمانی که با مازوت کار می‌کند) دور موتور مشعل یا پمپ سوخت یا موتور دمنده برعکس باشد. صافی سوخت کثیف شده باشد.
مشعل روشن شده بلافاصله خاموش می‌شود.	چشم الکتریکی کثیف است. در مسیر نور شعله و چشم الکتریکی مانع قرار دارد. اتصالات الکتریکی محکم نیست. اتصالات الکتریکی در مدار چشم الکتریکی بر عکس بسته شده است. جریان دریافتی چشم الکتریکی کم است. نسبت سوخت و هوا مناسب نیست و شعله کامل ایجاد نمی‌شود.

کنترل فشار

کنترل فشار توسط پرشر سوییچ‌های نصب شده بر روی کلکتور انجام می‌گیرد. پرشر سوییچ شماره(۱)، پرشر سوییچ اطمینان بوده، توام با به صدا درآوردن آژیر دستگاه، به مشعل فرمان(خاموش) خواهد داد. در صورتی عمل می‌کند که پرشر سوئیچ شماره (۲) عمل نکرده است.

پرشر سوییچ شماره (۲)، پرشر سوییچ (on/off) مشعل بوده و هرگاه فشار از حد نرمال بالاتر رود، فرمان (خاموش) خواهد داد.

پرشر سوییچ‌های شماره (۳) پرشر سوییچ (High/Low) مشعل‌ها بوده و با توجه به فشار تنظیمی، شعله مشعل‌ها را تنظیم می‌کند.

درصورتیکه پرشرسوئیچ‌های اصلی و اطمینان، هیچ کدام درست عمل نکنند، نهایتاً شیراطمینان نصب شده بر روی دستگاه وارد عمل شده و در نهایت فشار بویلر به صورت مکانیکی کنترل می‌کند و بخار اضافی خارج می‌شود به این ترتیب از حادثه انفجار جلوگیری می‌شود.

کنترل سطح آب

کنترل سطح آب داخل دستگاه توسط لول کنترل صورت می‌گیرد. هنگامی که بویلر در حال کار است، روزانه با باز نمودن شیر زیر لول کنترل آب داخل آن را تخلیه کنید. کوتاهی دراجرای این دستور العمل موجب عملکرد بد لول‌کنترل و به تبع آن، باعث بروز خسارات جبران‌ناپذیر برای بویلرخواهد شد. این شیر در پایین لول‌کنترل نصب می‌شود و سه وضعیت متفاوت را ایجاد می‌کند.

a) تخلیه آب لول کنترل

b) وضعیت نرمال

c) تخلیه بویلر به بلودان

الف) چنانچه شیر را در جهت عقربه‌های ساعت بچرخانید شیر در وضعیت بلودان قرار می‌گیرد و آب و بخار موجود در لول کنترل تخلیه خواهد شد.

با این کار رسوب ایجاد شده در بلودان نیز تخلیه می‌شود. در این وضعیت، به محض پایین آمدن سطح آب از سطح مشخص شده لول کنترل فرمان خاموشی مشعل و روشن شدن پمپ را می‌دهد.

اگر در حین تخلیه مشعل خاموش نشد، سریعاً باید لول کنترل را عوض کنید. عمل تخلیه آب را آنقدر ادامه دهید تا آب خروجی تمیز شود. سپس شیر تخلیه را ببندید. سطح آب باید به طور اتوماتیک توسط سیستم تغذیه بویلر به حالت اول بازگردد. اگر چنین نشد بی درنگ لول کنترل را تعویض نمایید.

ب) چنانچه شیر را در جهت عکس عقربه‌های ساعت بچرخانید، شیر در وضعیت نرمال قرار می‌گیرد. در این حالت آب به درون لول کنترل جریان پیدا می‌کند و سطح آب به صورت اتوماتیک تا سطح مورد نظر خواهد آمد. اگر نتایج کار مطلوب نبود این مراحل را تکرار کنید تا رسوبات به طور کامل تخلیه شود.

برای تغییر وضع شیر، لازم است که شیر را در هر وضعیت به طورکامل تا انتها بچرخانید، و سپس جهت چرخش را معکوس نمایید، چرا که وجود یک ضامن، باعث عدم چرخش شیر درجهت عکس خواهد بود.

ج) اگر شیر در حالت میانه باشد هیچ کدام از دو وضعیت قبلی نیست، و با باز کردن شیر متصل به بویلر، آب بویلر به بلودان تخلیه خواهد شد.

شیر اطمینان

اگر کارکرد شیر اطمینان مرتب کنترل نشود ممکن است در مسیر خروج بخار از شیر اطمینان رسوب

بگیرد و در موقع نیاز شیر اطمینان باز نشود که این امر موجب عدم تخلیه بخار اضافی در بویلر می‌شود و احتمال انفجار بویلر را بالا می‌برد.

بازرسی ادواری (حین بهره‌برداری)

بویلرها به عنوان یک گروه خاص از مخازن تحت فشار از اهمیت ایمنی منحصر به فردی در سرتاسر دنیا برخوردار هستند چراکه هر ساله شاهد انفجار و یا آتش‌سوزی‌های متعددی از آنها در سرتاسر دنیا هستیم فلذا پیش‌بینی خطرات احتمالی در بهره‌برداری و استفاده از دیگ‌های بخار از اهمیت زیادی برخوردار است. دیگ‌های بخار مطابق قوانین و دستورالعمل‌های موجود در اداره کار و موسسه استاندارد ایران، پس از بهره‌برداری، در بازه زمانی مشخص باید مورد بازرسی‌های ادواری فنی لازم قرار بگیرند و پس از طی مراحل تست از تاییده قانونی لازم برخوردار گردند. این نوع بازرسی بنا به درخواست بهره‌بردار و در انطباق با استاندارد[1] انجام می‌پذیرد و پس از اتمام مراحل بازرسی، گواهینامه و پلاک بازرسی ادواری با تاریخ اعتبار مشخص صادر می‌شود.

مراحل بازرسی ادواری به شرح زیر است :

۱- بازرسی از اجزای اصلی شامل پوسته، کوره، محفظه آتش، صفحات انتهایی، مجاری، آتش دانها، مقاومهای میله‌ای، صفحه‌ای و لوله‌ای از نقطه نظر وضعیت خوردگی، صدمات مکانیکی، تغییر فرم، ترک، شکستگی، رسوبات و دوده

۲- ضخامت سنجی از قسمت‌های اصلی شامل پوسته، کوره، صفحات انتهائی و محفظه برگشت و مطابقت با نقشه ساخت

۳- بازرسی متعلقات جانبی دیگ شامل آب‌نماها، کنترل کننده سطح آب، سوپاپ اطمینان، نسوزکاری، عایق کاری، وضعیت مشعل و وضعیت آب مصرفی

۴- نظارت بر انجام تست هیدرواستاتیک مطابق الزامات استاندار

تست دیگ‌بخار

تست دیگ‌بخار دارای سه روش الف)تست هیدرولیک ب)تست هیدرو استاتیک و ج)تست ضخامت سنجی است.

روش تست

برای انجام تست می‌بایست کلیه منفاذ دیگ‌بخار اعم از شیرهای آبنما، شیر اصلی، شیر تخلیه، کنترل سطح و کلیهٔ دریچه‌ها مسدود شود. سپس به کمک پمپ فشار داخل بویلر را تا۱/۵ برابر فشار کاری بویلر بالا می‌برند. بویلر باید حداقل به مدت ۲ ساعت تحت فشار قرار داشته باشد بدون آنکه از فشار آن کاسته شود. به این عمل تست هیدرو استاتیک می‌گویند. در طول زمان تست متخصص تست کلیه بخش‌های بویلر شامل محل جوشکاری‌ها، والس‌کاری‌ها و..را مورد بازرسی قرار می‌دهد تا کوچک‌ترین نقطه معیوبی در آن وجود نداشته باشد.

فلذا در صورت مشاهده هر نوع عیب باید فشار را شکسته و به رفع عیب پرداخته شود و بعد از رفع عیب مجدداً دیگ تحت فشار قرار گیرد. این روند تا آنجا ادامه پیدا می‌کند که دیگ مانند تست زمان

1- ASME SEC VII-C3

ساخت کاملاً سالم وقابل بهره‌برداری باشد.

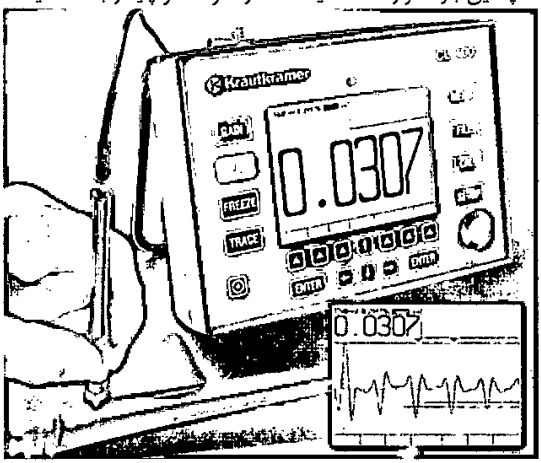
ضخامت سنجی

برای حصول اطمینان از ضخامت مناسب بویلر جهت تحمل فشار و دمای بویلر باید قسمت‌های مختلف آن شامل پوسته، کوره، صفحات انتهائی و محفظه برگشت مورد تست ضخامت سنجی قرار گیرد تا چنانچه به دلیل خوردگی در طول زمان ضخامت بدنه از حد استاندارد کمتر شده است از ادامه کار بویلر جلوگیری شود.

ضخامت سنج‌های ماوراء صوت

از ضخامت سنج‌های ماوراء صوت برای اندازه‌گیری ضخامت مواد از یک سمت آنها، استفاده می‌شود. کار تمامی سنجه‌های ماوراء صوت بر پایه اندازه‌گیری بازه زمانی عبور پالس‌های فرکانس صوتی از میان ماده مورد آزمایش است. فرکانس یا گام این پالس های صوتی فراتر از حد شنوایی انسان است. این امواج فرکانس بالا توسط وسیله‌ای تولید و دریافت می‌شوند که مبدل ماوراء صوت نامیده می‌شود ؛ که انرژی الکتریکی را به لرزش‌های مکانیکی تبدیل می‌کند و بلعکس

یک ضخامت‌سنج ماوراء صوت عموماً شامل یک مدار گیرنده و فرستنده، کنترل کننده، زمان سنج منطقی، مدار محاسباتی، مدار نمایش گر و یک تامین کننده نیرو است. پالسر، تحت کنترل یک میکرو پروسسور، یک پالس محرک را به مبدل می‌فرستد. پالس ماوراء صوت بوسیله مبدل که به نمونه تست متصل شده، تولید می‌شود. انعکاس‌ها از انتها یا داخل سطح نمونه به وسیله مبدل دریافت و به سیگنال‌های الکتریکی تبدیل می‌شوند و یک آمپلیفایر دریافت کننده را تغذیه می‌کنند برای آنالیز کردن. میکرو پروسسور کنترل کننده و مدارهای زمان سنج منطقی پالس را منطبق کرده و و سیگنال‌های انعکاسی مناسب را برای اندازه‌گیری بازه زمانی انتخاب می‌کنند. وقتی که انعکاس‌ها دریافت می‌شوند، مدار زمان سنجی، یک بازه برابر با رفت و برگشت پالس صوتی در نمونه تست را بدقت اندازه خواهد گرفت. اغلب این پروسه چندین بار تکرار شده تا یک مقدار متوسط و پایدار بدست آید.

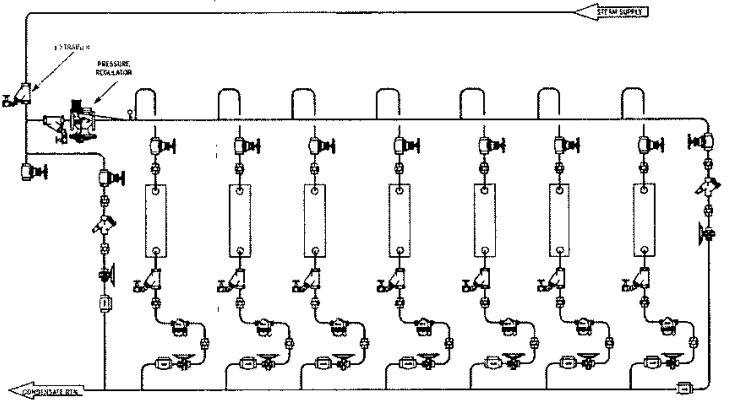


شکل ۱۶-۳: دستگاه ضخامت سنج

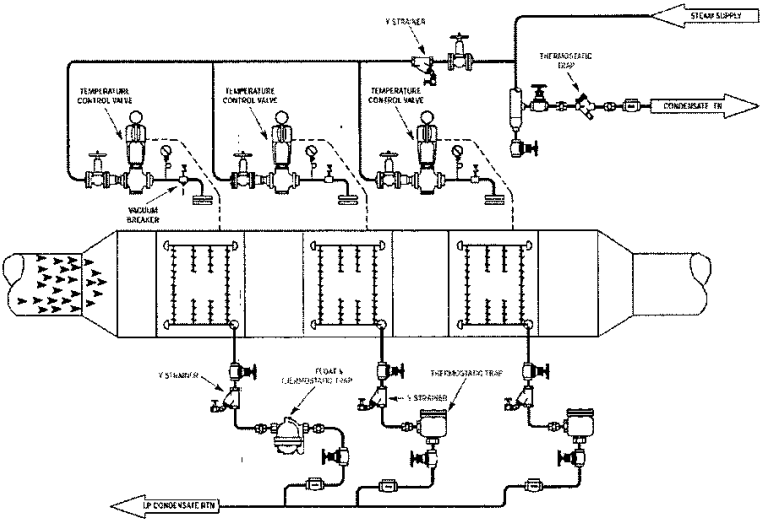
چنانچه دیگ‌بخار بتواند از تمامی تست‌های یادشده به سلامت عبور کند مجوز بهره‌برداری یکساله توسط کارشناس وزارت‌کار برای آن صادر می‌شود.

نکات اجرایی در اجرای خطوط بخار

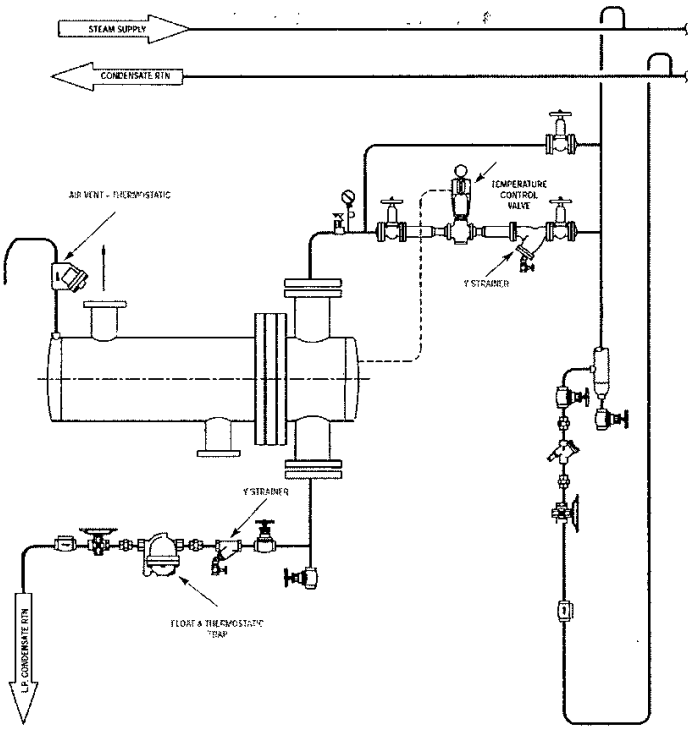
اجرا و نصب صحیح شیرهای کنترل، تله‌های بخار، خطوط انتقال بخار و کندانس تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر عملکرد و طول عمر آن دارد لذا در این قسمت به بعضی از نکات اجرایی در مورد خطوط بخار به کمک شکل‌های مختلف می‌پردازیم.



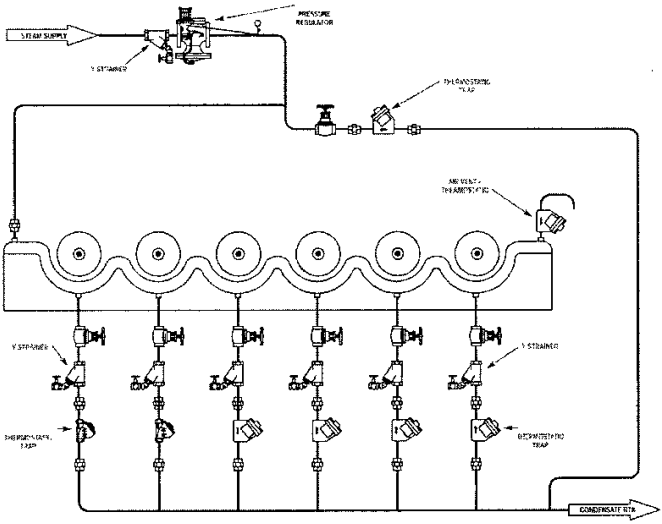
شکل ۱۶-۴: شماتیک نصب تله بخار



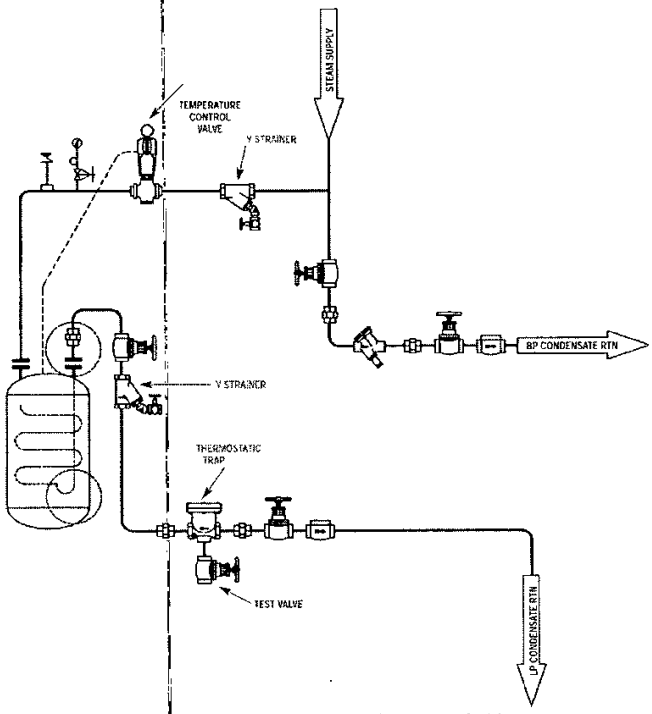
شکل ۱۶-۵: شماتیک نصب خط بخار و کندانس هواساز



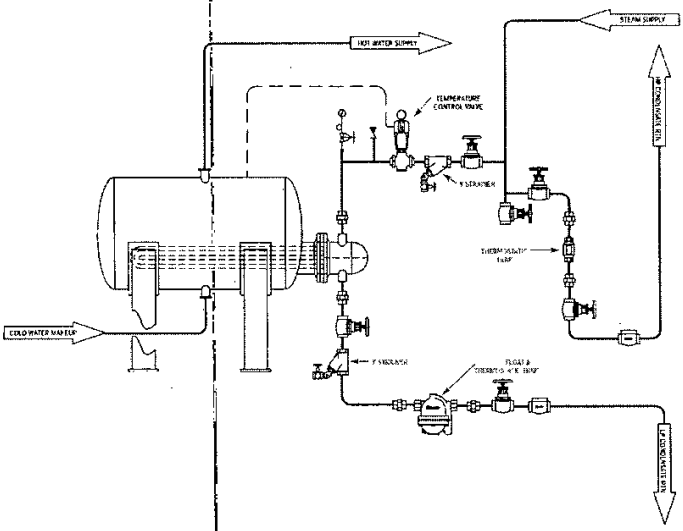
شکل ۱۶-۶: شماتیک نصب خط بخار و کندانس مبدل پوسته و لوله



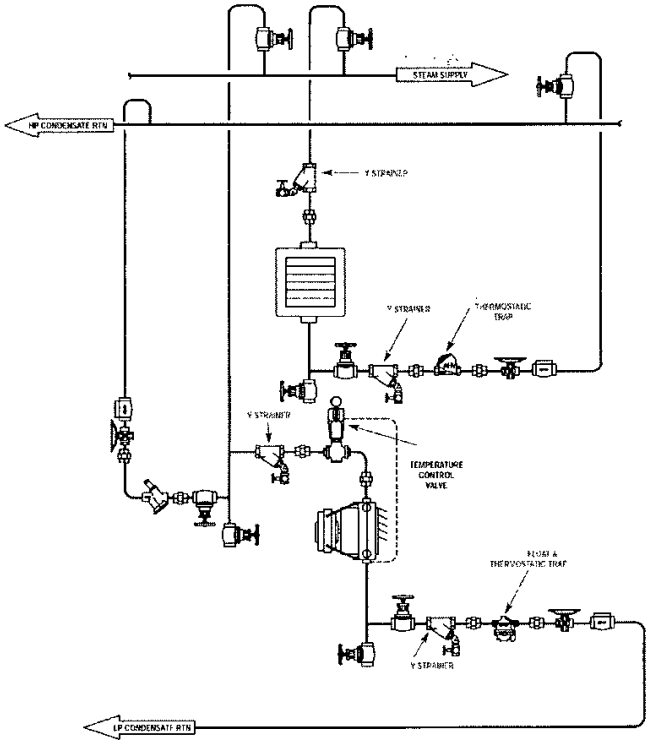
شکل ۱۶-۷: شماتیک نصب خط بخار و کندانس پرس



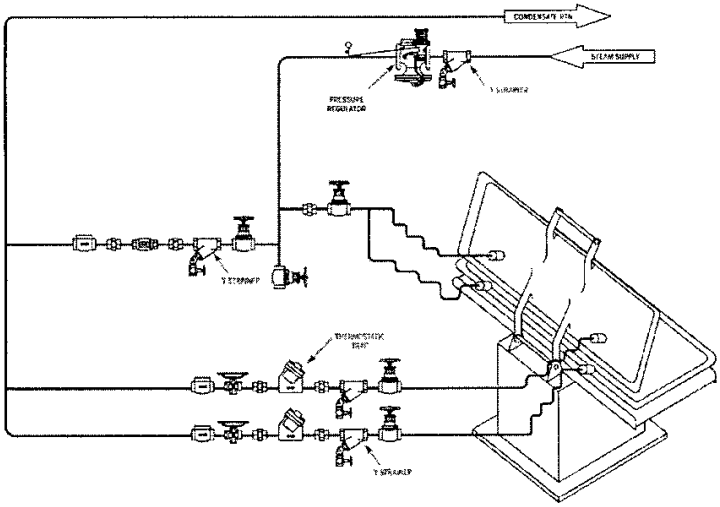
شکل ۱۶-۸: شماتیک نصب خط بخار و کندانس رو به بالا



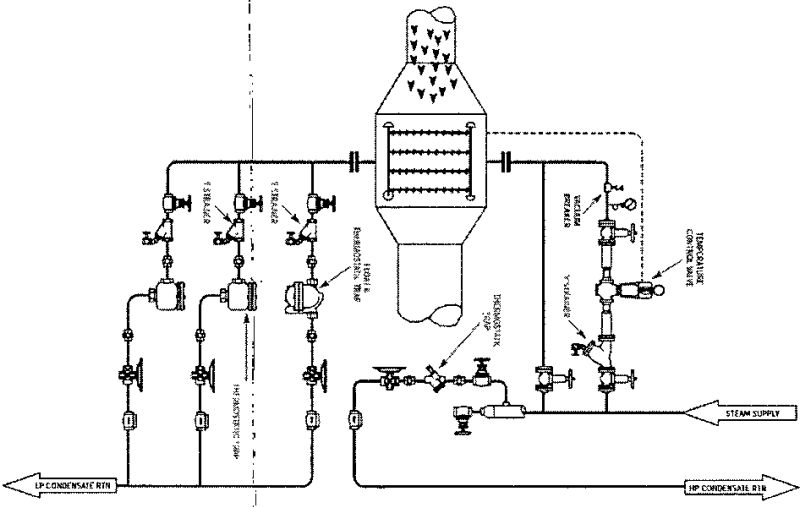
شکل ۱۶-۹: شماتیک نصب خط بخار و کندانس تانک گرم کن



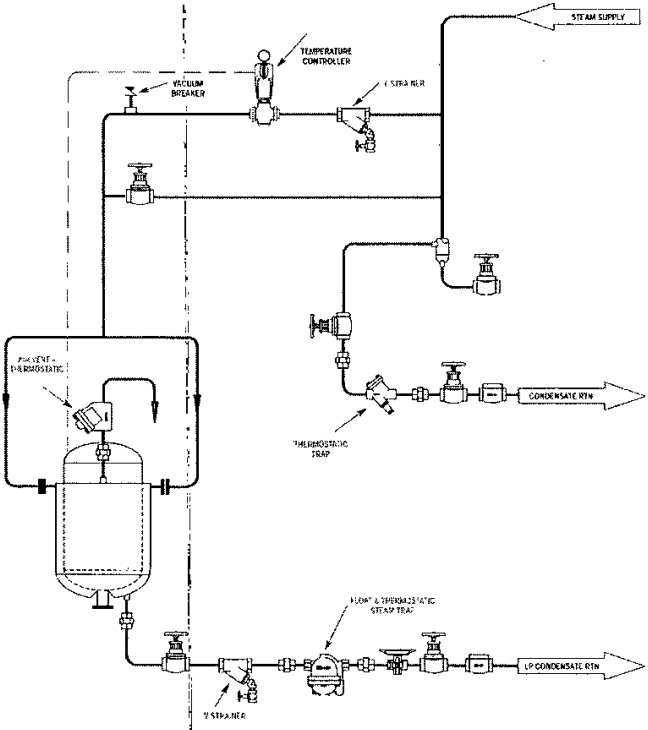
شکل ۱۶-۱۰: شماتیک نصب خط بخار و کندانس یونیت هیتر



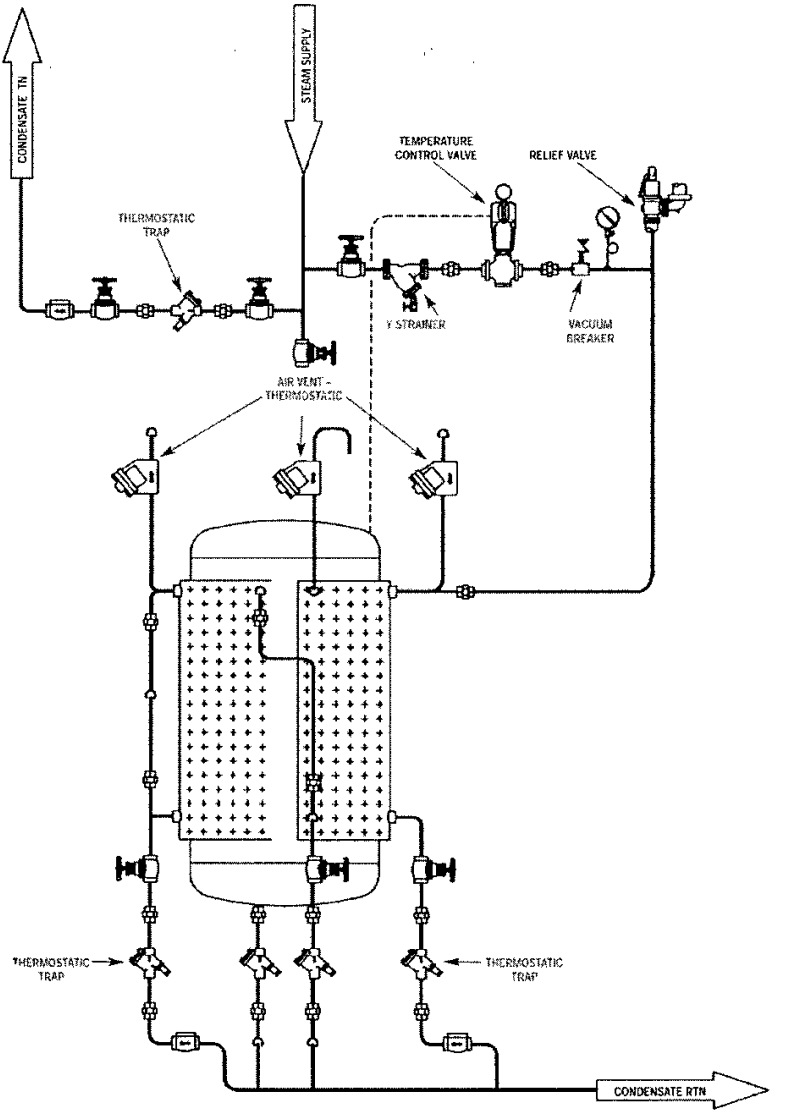
شکل ۱۶-۱۱: شماتیک نصب خط بخار و کندانس پرس بخار



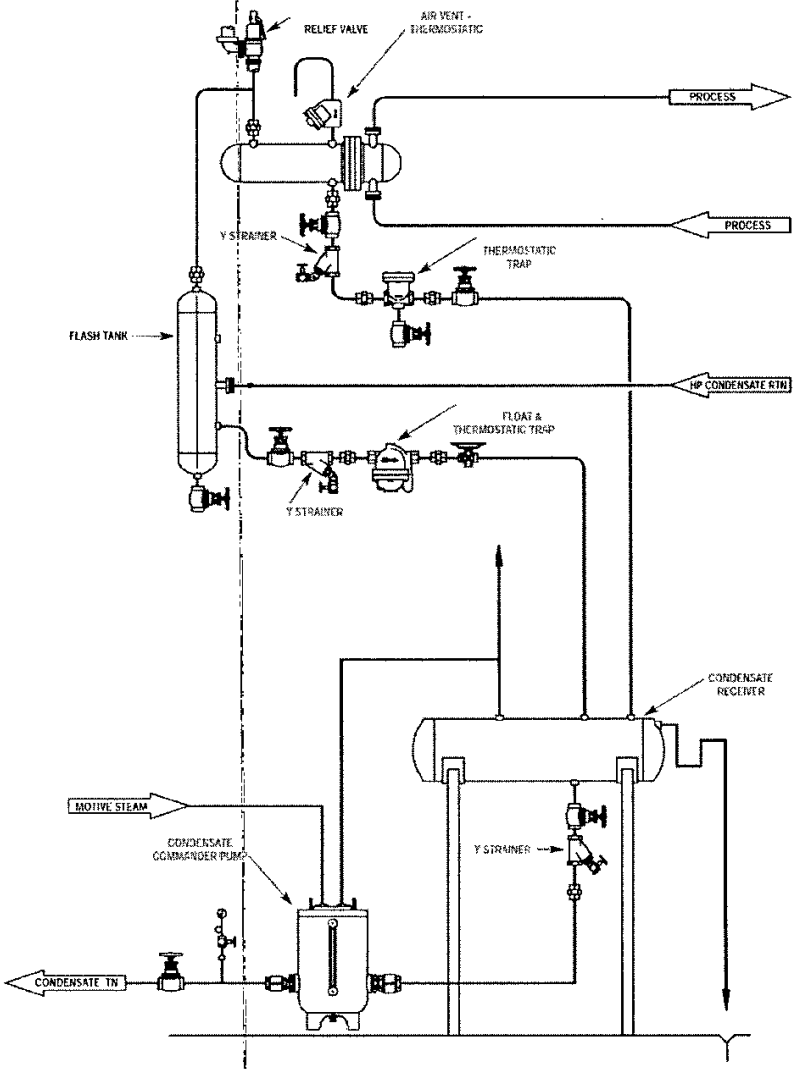
شکل ۱۶-۱۲: شماتیک نصب خط بخار و کندانس



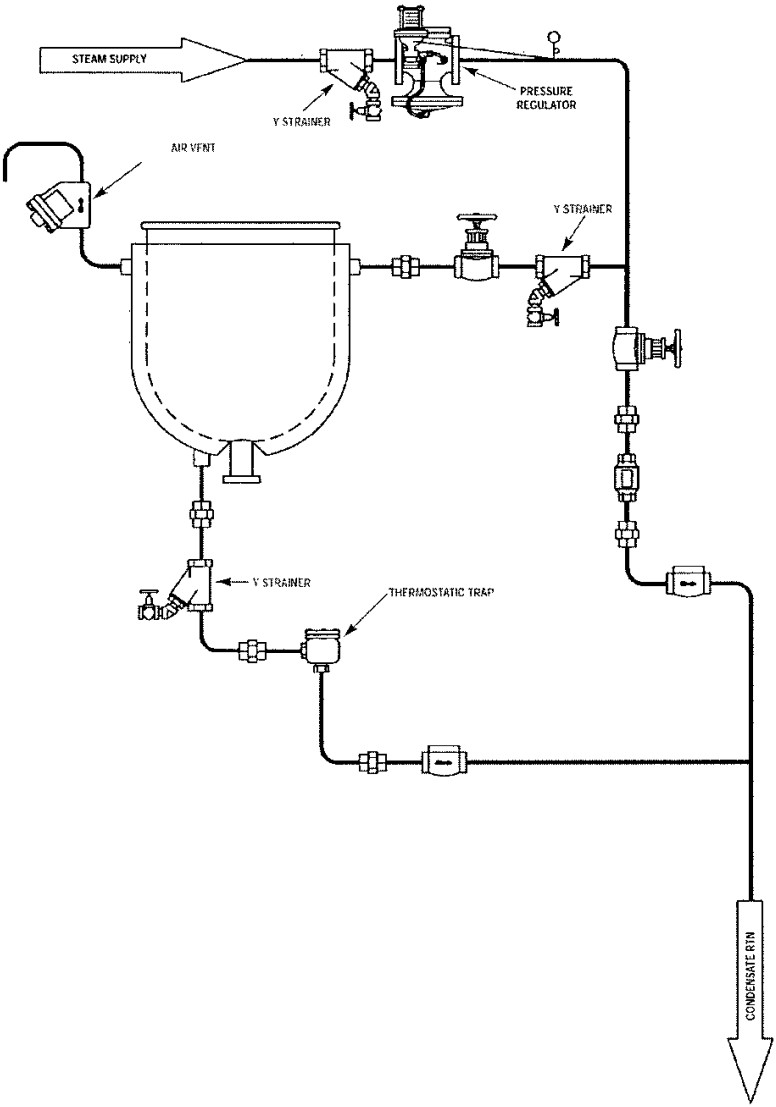
شکل ۱۶-۱۳: شماتیک نصب خط بخار و کندانس ژاکت



شکل ۱۶-۱۴: شماتیک نصب خط بخار و کندانس مبدل دوجداره



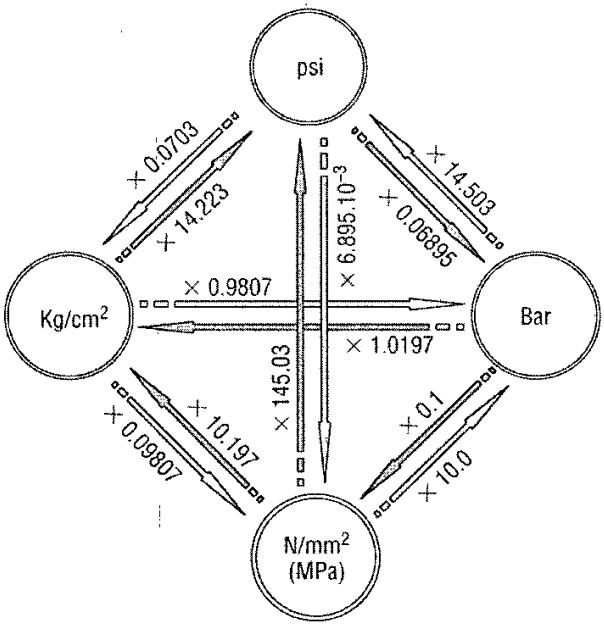
شکل ۱۶-۱۵: شماتیک نصب خط بخار و کندانس با پمپ تله اتوماتیک



شکل ۱۶-۱۶: شماتیک نصب خط بخار و کندانس مخزن ژاکت دار

فصل ۱۷
ضمائم

تبدیل واحد



Unit	*lb/in² (psi)*	*lb/ft²*	*atm*	*in H_2O*	*cmHg*	*N/m²(Pa)*
1 lb per in² (psi)	1	144	6.805×10^{-2}	27.68	5.171	6.895×10^{3}
1 lb per ft²	6.944×10^{-3}	1	4.725×10^{-4}	0.1922	3.591×10^{-2}	47.88
1 atmosphere (atm)	14.70	2116	1	406.8	76	1.013×10^{5}
1 in of water at 39.2°F (4°C)	3.613×10^{-2}	5.02	2.458×10^{-3}	1	0.1868	249.1
1 cm of mercury at 32°F (0°C)	0.1934	27.85	1.316×10^{-2}	5.353	1	1333
1 N per m² (Pa)	1.450×10^{-4}	2.089×10^{-2}	9.869×10^{-6}	4.015×10^{-3}	7.501×10^{-4}	1

Item	*ft/s*	*km/h*	*m/s*	*mile/h*	*cm/s*	*knot*
1 ft per s	1	1.097	0.3048	0.6818	30.48	0.592
1 km per h	0.9113	1	0.2778	0.6214	27.78	0.5396
1 m per s	3.281	3.600	1	2.237	100	1.942
1 mile per h	1.467	1.609	0.4470	1	44.70	0.868
1 cm per s	3.281×10^{-2}	3.600×10^{-2}	0.0100	2.237×10^{-2}	1	0.0194
1 knot	1.689	1.853	0.5148	1.152	51.48	1

	BTU	*ft-lb*	*hp-h*	*cal*	*J*	*kW-h*
1 British thermal unit (BTU)	1	777.9	3.929×10^{-4}	252	1055	2.93×10^{-4}
1 foot-pound (ft-lb)	1.285×10^{-3}	1	5.051×10^{-7}	0.3239	1.356	3.766×10^{-7}
1 horsepower-hour (hp-h)	2545	1.98×10^{6}	1	6.414×10^{5}	2.685×10^{6}	0.7457
1 caloric (cal)	3.968×10^{-3}	3.087	1.559×10^{-6}	1	4.187	1.163×10^{-6}
1 joule (J)	9.481×10^{-4}	0.7376	3.725×10^{-7}	0.2389	1	2.778×10^{-7}
1 kilowatt hour (kW-h)	3413	2.655×10^{6}	1.341	8.601×10^{5}	3.6×10^{6}	1

	BTU/h	*BTU/s*	*ft-lb/s*	*hp*	*cal/s*	*kW*	*W*
1 BTU/h	1	2.778×10^{-4}	0.2161	3.929×10^{-4}	7.000×10^{-2}	2.930×10^{-4}	0.2930
1 BTU/s	3600	1	777.9	1.414	252.0	1.055	1.055×10^{-3}
1ft-lb/s	4.62	1.286×10^{-3}	1	1.818×10^{-3}	0.3239	1.356×10^{-3}	1.356
1 hp	2545	0.7069	550	1	178.2	0.7457	745.7
1 cal/s	14.29	0.3950	3.087	5.613×10^{-3}	1	4.186×10^{-3}	4.186
1 kW	3413	0.9481	737.6	1.341	238.9	1	1000
1 W	3.413	9.481×10^{-4}	0.7376	1.341×10^{-3}	0.2389	0.001	1

Fig. 2.4 Temperature conversions

Unit	*sq.in*	*sq.ft*	*sq.yd*	*sq.mile*	*cm²*	*dm²*	*m²*	*a*	*ha*	*km²*
1 square inch	1	-	-	-	6.452	0.06452	-	-	-	-
1 square foot	144	1	0.1111	-	929	9.29	0.0929	-	-	-
1 square yard	1296	9	1	-	8361	83.61	0.8361	-	-	-
1 square mile	-	-	-	1	-	-	-	-	259	2.59
1 cm^2	0.155	-	-	-	1	0.01	-	-	-	-
1 dm^2	15.5	0.1076	0.01196	-	100	1	0.01	-	-	-
1 m^2	1550	10.76	1.196	-	10 000	100	1	0.01	-	-
1 are (a)	-	1076	119.6	-	-	10 000	100	1	0.01	-
1 hectare (ha)	-	-	-	-	-	-	10 000	100	1	0.01
1 km^2	-	-	-	0.3861	-	-	-	10 000	100	1

جداول بخار اشباع و سوپرهیت براساس SI ،US :

Pressure		Temperature	Specific enthalpy			Specific volume steam
bar	kPa	°C	Water (h_f) kJ/kg	Evaporation (h_{fg}) kJ/kg	Steam (h_g) kJ/kg	m^3/kg
absolute						
0.30	30.0	69.10	289.23	2 336.1	2 625.3	5.229
0.50	50.0	81 33	340.49	2 305.4	2 645.9	3.240
0.75	75.0	91.78	384.39	2 278.6	2 663.0	2.217
0.95	95.0	98.20	411.43	2 261.8	2 673.2	1.777
gauge						
0	0	100.00	419.04	2 257.0	2 676.0	1.673
0.10	10.0	102.66	430.2	2 250.2	2 680.2	1.533
0.20	20.0	105.10	440.8	2 243.4	2 684.2	1.414
0.30	30.0	107.39	450 4	2 237.2	2 687.6	1.312
0.40	40.0	109.55	459.7	2 231.3	2 691.0	1.225
0.50	50.0	111.61	468.3	2 225.6	2 693.9	1.149
0.60	60.0	113.56	476.4	2 220.4	2 696.8	1.088
0.70	70.0	115.40	484.1	2 215.4	2 699.5	1.024
0.80	80.0	117.14	491.6	2 210.5	2 702.1	0.971
0.90	90.0	118.80	498.9	2 205 6	2 704.5	0.923
1.00	100.0	120.42	505.6	2 201.1	2 706.7	0.881
1.10	110.0	121.96	512.2	2 197.0	2 709.2	0.841
1.20	120.0	123.46	518.7	2 192.8	2 711.5	0.806
1.30	130.0	124.90	524.6	2 188.7	2 713.3	0.773
1.40	140.0	126.28	530.5	2 184.8	2 715.3	0.743
1.50	150.0	127.62	536.1	2 181.0	2 717.1	0.714
1.60	160.0	128.89	541.6	2 177.3	2 718.9	0.689
1.70	170.0	130.13	547.1	2 173.7	2 720.8	0.665
1.80	180.0	131.37	552.3	2 170.1	2 722.4	0.643
1.90	190.0	132.54	557.3	2 166.7	2 724.0	0.622
2.00	200.0	133.69	562.2	2 163.3	2 725.5	0.603
2.20	220.0	135.88	571.7	2 156.9	2 728.6	0.568
2.40	240.0	138.01	580.7	2 150.7	2 731.4	0.536
2.60	260.0	140.00	589.2	2 144.7	2 733.9	0.509
2.80	280.0	141.92	597.4	2 139.0	2 736.4	0.483
3.00	300.0	143.75	605 3	2 133.4	2 738.7	0.461
3.20	320.0	145.46	612.9	2 128.1	2 741.0	0.440
3.40	340.0	147.20	620.0	2 122.9	2 742.9	0.422
3.60	360.0	148.84	627.1	2 117.8	2 744.9	0.405
3.80	380.0	150.44	634.0	2 112.9	2 746.9	0.389
4.00	400.0	151.96	640.7	2 108.1	2 748.8	0.374
4.50	450.0	155.55	656.3	2 096.7	2 753.0	0.342
5.00	500.0	158.92	670.9	2 086.0	2 756.9	0.315
5.50	550.0	162.08	684.6	2 075.7	2 760.3	0.292
6.00	600.0	165.04	697.5	2 066.0	2 763.5	0.272
6.50	650.0	167.83	709.7	2 056.8	2 766.5	0.255
7.00	700.0	170.50	721.4	2 047.7	2 769.1	0.240
7.50	750.0	173.02	732.5	2 039.2	2 771.7	0.227
8.00	800.0	175.43	743.1	2 030.9	2 774.0	0.215
8.50	850.0	177.75	753.3	2 022.9	2 776.2	0.204
9.00	900.0	179.97	763.0	2 015.1	2 778.1	0.194
9.50	950.0	182.10	772.5	2 007.5	2 780.0	0.185
10.00	1 000.0	184.13	781.6	2 000.1	2 781.7	0.177
10.50	1 050.0	186.05	790.1	1 993.0	2 783.3	0.171
11.00	1 100.0	188.02	798.8	1 986.0	2 784.8	0.163
11.50	1 150.0	189.82	807.1	1 979.1	2 786.3	0.157
12.00	1 200.0	191.68	815.1	1 972.5	2 787.6	0.151
12.50	1 250.0	193.43	822.9	1 965.4	2 788.8	0.148
13.00	1 300.0	195.10	830.4	1 959.6	2 790.0	0.141
14.00	1 400.0	198.35	845.1	1 947.1	2 792.2	0.132
15.00	1 500.0	201.45	859.0	1 935.0	2 794.0	0.124
16.00	1 600.0	204.38	872.3	1 923.4	2 795.7	0.117
17.00	1 700.0	207.17	885.0	1 912.1	2 797.1	0.110
18.00	1 800.0	209.90	897.2	1 901.3	2 798.5	0.105
19.00	1 900.0	212.47	909.0	1 890.5	2 799.5	0.100
20.00	2 000.0	214.96	920.3	1 880 2	2 800.5	0.099 4
21.00	2 100.0	217.35	931 3	1 870.1	2 801.4	0.090 6
22.00	2 200.0	219.65	941.9	1 860.1	2 802.0	0.086 8
23.00	2 300.0	221.85	952 2	1 850.4	2 802.6	0.083 2
24.00	2 400.0	224.02	962.2	1 840.9	2 803.1	0.079 7
25.00	2 500.0	226.12	972.1	1 831.4	2 803.5	0.076 8
26.00	2 600.0	228.15	981.6	1 822.2	2 803.8	0.074 0
27.00	2 700.0	230.14	990.7	1 813.3	2 804.0	0.071 4

Table 1. Properties of Saturated Water and Steam (Temperature)

Temp. °F	Pressure psia	Volume, ft^3/lb_m v_L	v_V	Enthalpy, Btu/lb_m h_L	h_V	Entropy, $Btu/(lb_m \cdot °R)$ s_L	s_V	Temp. °F
32	0.08865	0.016022	3302.0	-0.018	1075.2	0.0000	2.1868	32
35	0.09998	0.016020	2945.5	3.004	1076.5	0.0061	2.1762	35
40	0.12173	0.016020	2443.4	8.032	1078.7	0.0162	2.1590	40
45	0.14757	0.016021	2035.6	13.052	1080.9	0.0262	2.1421	45
50	0.17813	0.016024	1702.9	18.066	1083.1	0.0361	2.1257	50
55	0.21414	0.016029	1430.3	23.074	1085.3	0.0459	2.1097	55
60	0.25639	0.016035	1206.1	28.079	1087.4	0.0555	2.0941	60
65	0.30579	0.016043	1020.8	33.080	1089.6	0.0651	2.0788	65
70	0.36334	0.016052	867.19	38.078	1091.8	0.0746	2.0640	70
75	0.43015	0.016062	739.30	43.074	1094.0	0.0840	2.0495	75
80	0.50744	0.016074	632.44	48.069	1096.1	0.0933	2.0353	80
85	0.59656	0.016086	542.84	53.062	1098.3	0.1025	2.0215	85
90	0.69899	0.016100	467.45	58.054	1100.4	0.1116	2.0080	90
95	0.81636	0.016115	403.79	63.046	1102.6	0.1207	1.9948	95
100	0.95044	0.016131	349.87	68.037	1104.7	0.1296	1.9819	100
105	1.1032	0.016148	304.05	73.028	1106.9	0.1385	1.9693	105
110	1.2766	0.016166	264.99	78.019	1109.0	0.1473	1.9570	110
115	1.4730	0.016185	231.60	83.010	1111.1	0.1560	1.9450	115
120	1.6949	0.016205	202.96	88.002	1113.2	0.1647	1.9333	120
125	1.9449	0.016225	178.34	92.994	1115.3	0.1732	1.9218	125
130	2.2258	0.016247	157.10	97.987	1117.4	0.1817	1.9106	130
135	2.5407	0.016269	138.74	102.98	1119.5	0.1902	1.8996	135
140	2.8929	0.016293	122.82	107.98	1121.6	0.1985	1.8888	140
145	3.2858	0.016317	108.99	112.97	1123.7	0.2068	1.8783	145
150	3.7231	0.016342	96.934	117.97	1125.7	0.2151	1.8680	150
155	4.2089	0.016367	86.405	122.97	1127.8	0.2232	1.8580	155
160	4.7472	0.016394	77.186	127.98	1129.8	0.2313	1.8481	160
165	5.3426	0.016421	69.097	132.98	1131.9	0.2394	1.8384	165
170	5.9998	0.016449	61.962	137.99	1133.9	0.2474	1.8290	170
175	6.7237	0.016478	55.710	143.00	1135.9	0.2553	1.8197	175
180	7.5196	0.016507	50.171	148.01	1137.9	0.2631	1.8106	180
185	8.3930	0.016538	45.267	153.03	1139.9	0.2709	1.8017	185
190	9.3497	0.016569	40.918	158.05	1141.8	0.2787	1.7930	190
195	10.396	0.016601	37.053	163.07	1143.8	0.2864	1.7844	195
200	11.538	0.016633	33.611	168.10	1145.7	0.2940	1.7760	200
205	12.782	0.016667	30.540	173.13	1147.6	0.3016	1.7678	205
210	14.136	0.016701	27.796	178.17	1149.5	0.3092	1.7597	210
215	15.606	0.016736	25.339	183.20	1151.4	0.3167	1.7517	215
220	17.201	0.016771	23.135	188.25	1153.3	0.3241	1.7440	220
225	18.928	0.016808	21.155	193.30	1155.1	0.3315	1.7363	225
230	20.795	0.016845	19.373	198.35	1157.0	0.3388	1.7288	230
235	22.811	0.016883	17.766	203.41	1158.8	0.3461	1.7214	235
240	24.985	0.016921	16.316	208.47	1160.5	0.3534	1.7141	240
245	27.326	0.016961	15.004	213.54	1162.3	0.3606	1.7070	245
250	29.843	0.017001	13.816	218.62	1164.0	0.3678	1.7000	250

Table 1. Properties of Saturated Water and Steam (Temperature)

Temp. °F	Pressure psia	Volume, ft^3/lb_m v_L	v_V	Enthalpy, Btu/lb_m h_L	h_V	Entropy, $Btu/(lb_m \cdot °R)$ s_L	s_V	Temp. °F
255	32.546	0.017042	12.739	223.70	1165.7	0.3749	1.6930	255
260	35.445	0.017084	11.760	228.79	1167.4	0.3820	1.6862	260
265	38.551	0.017127	10.870	233.88	1169.1	0.3890	1.6796	265
270	41.874	0.017170	10.069	238.99	1170.7	0.3960	1.6730	270
275	45.426	0.017214	9.3196	244.10	1172.3	0.4030	1.6665	275
280	49.218	0.017259	8.6442	249.21	1173.9	0.4099	1.6601	280
285	53.261	0.017305	8.0265	254.34	1175.5	0.4168	1.6538	285
290	57.567	0.017352	7.4610	259.47	1177.0	0.4236	1.6476	290
295	62.150	0.017400	6.9425	264.61	1178.5	0.4305	1.6414	295
300	67.021	0.017449	6.4666	269.76	1180.0	0.4372	1.6354	300
305	72.193	0.017498	6.0293	274.91	1181.4	0.4440	1.6294	305
310	77.680	0.017548	5.6270	280.08	1182.8	0.4507	1.6235	310
315	83.496	0.017600	5.2564	285.26	1184.2	0.4574	1.6177	315
320	89.654	0.017652	4.9148	290.44	1185.5	0.4640	1.6120	320
325	96.168	0.017705	4.5994	295.64	1186.8	0.4706	1.6063	325
330	103.05	0.017760	4.3079	300.85	1188.0	0.4772	1.6007	330
335	110.32	0.017815	4.0384	306.07	1189.3	0.4838	1.5952	335
340	118.00	0.017871	3.7888	311.30	1190.5	0.4903	1.5897	340
345	126.08	0.017929	3.5574	316.54	1191.6	0.4968	1.5843	345
350	134.60	0.017987	3.3428	321.79	1192.7	0.5033	1.5789	350
355	143.57	0.018047	3.1435	327.06	1193.8	0.5097	1.5736	355
360	153.00	0.018108	2.9582	332.34	1194.8	0.5162	1.5684	360
365	162.92	0.018170	2.7859	337.63	1195.8	0.5226	1.5632	365
370	173.33	0.018233	2.6254	342.94	1196.7	0.5289	1.5580	370
375	184.25	0.018297	2.4758	348.26	1197.6	0.5353	1.5529	375
380	195.71	0.018363	2.3363	353.59	1198.5	0.5416	1.5478	380
385	207.72	0.018430	2.2061	358.94	1199.3	0.5479	1.5428	385
390	220.29	0.018498	2.0843	364.31	1200.1	0.5542	1.5378	390
395	233.45	0.018568	1.9705	369.70	1200.8	0.5605	1.5329	395
400	247.22	0.018639	1.8640	375.10	1201.5	0.5667	1.5280	400
405	261.61	0.018711	1.7643	380.52	1202.1	0.5729	1.5231	405
410	276.64	0.018785	1.6708	385.95	1202.6	0.5791	1.5182	410
415	292.34	0.018861	1.5830	391.41	1203.2	0.5853	1.5134	415
420	308.71	0.018938	1.5007	396.89	1203.6	0.5915	1.5086	420
425	325.79	0.019016	1.4234	402.38	1204.0	0.5977	1.5038	425
430	343.59	0.019097	1.3507	407.90	1204.4	0.6038	1.4991	430
435	362.13	0.019179	1.2822	413.44	1204.7	0.6100	1.4943	435
440	381.44	0.019263	1.2179	419.01	1204.9	0.6161	1.4896	440
445	401.53	0.019349	1.1572	424.59	1205.1	0.6222	1.4849	445
450	422.42	0.019437	1.1000	430.20	1205.2	0.6283	1.4802	450
455	444.14	0.019527	1.0461	435.84	1205.2	0.6344	1.4755	455
460	466.71	0.019619	0.9952	441.50	1205.2	0.6405	1.4709	460
465	490.15	0.019713	0.9471	447.19	1205.1	0.6466	1.4662	465
470	514.48	0.019810	0.9016	452.91	1204.9	0.6526	1.4615	470
475	539.73	0.019908	0.8586	458.66	1204.7	0.6587	1.4569	475

Table 1. Properties of Saturated Water and Steam (Temperature)

Temp. °F	Pressure psia	Volume, ft^3/lb_m v_L	v_V	Enthalpy, Btu/lb_m h_L	h_V	Entropy, $Btu/(lb_m \cdot °R)$ s_L	s_V	Temp. °F
480	565.92	0.02001	0.8180	464.44	1204.4	0.6648	1.4522	**480**
485	593.07	0.02011	0.7795	470.25	1204.0	0.6708	1.4475	**485**
490	621.20	0.02022	0.7430	476.10	1203.5	0.6769	1.4429	**490**
495	650.35	0.02033	0.7084	481.97	1203.0	0.6829	1.4382	**495**
500	680.53	0.02044	0.6756	487.89	1202.3	0.6890	1.4335	**500**
505	711.77	0.02056	0.6445	493.84	1201.6	0.6951	1.4288	**505**
510	744.09	0.02068	0.6149	499.83	1200.8	0.7011	1.4241	**510**
515	777.52	0.02080	0.5868	505.86	1199.9	0.7072	1.4193	**515**
520	812.08	0.02092	0.5601	511.93	1198.9	0.7133	1.4145	**520**
525	847.81	0.02105	0.5347	518.05	1197.9	0.7194	1.4098	**525**
530	884.73	0.02118	0.5105	524.21	1196.7	0.7255	1.4049	**530**
535	922.85	0.02132	0.4875	530.42	1195.4	0.7316	1.4001	**535**
540	962.23	0.02146	0.4656	536.69	1194.0	0.7377	1.3952	**540**
545	1002.9	0.02161	0.4446	543.00	1192.5	0.7438	1.3903	**545**
550	1044.8	0.02176	0.4247	549.37	1190.8	0.7500	1.3853	**550**
555	1088.1	0.02192	0.4056	555.80	1189.1	0.7562	1.3803	**555**
560	1132.7	0.02208	0.3875	562.29	1187.2	0.7624	1.3752	**560**
565	1178.7	0.02225	0.3701	568.85	1185.2	0.7686	1.3701	**565**
570	1226.2	0.02242	0.3535	575.48	1183.0	0.7749	1.3649	**570**
575	1275.1	0.02260	0.3376	582.18	1180.7	0.7812	1.3596	**575**
580	1325.4	0.02279	0.3223	588.95	1178.2	0.7875	1.3543	**580**
585	1377.3	0.02299	0.3077	595.81	1175.6	0.7939	1.3489	**585**
590	1430.8	0.02319	0.2938	602.75	1172.8	0.8003	1.3433	**590**
595	1485.8	0.02341	0.2803	609.79	1169.8	0.8067	1.3377	**595**
600	1542.5	0.02363	0.2675	616.93	1166.6	0.8133	1.3320	**600**
605	1600.8	0.02387	0.2551	624.17	1163.2	0.8198	1.3261	**605**
610	1660.8	0.02411	0.2432	631.53	1159.6	0.8265	1.3202	**610**
615	1722.6	0.02437	0.2317	639.01	1155.7	0.8332	1.3140	**615**
620	1786.1	0.02465	0.2207	646.62	1151.6	0.8400	1.3077	**620**
625	1851.5	0.02494	0.2101	654.36	1147.2	0.8469	1.3012	**625**
630	1918.8	0.02525	0.1998	662.30	1142.5	0.8539	1.2945	**630**
635	1988.0	0.02558	0.1899	670.40	1137.4	0.8610	1.2876	**635**
640	2059.2	0.02593	0.1802	678.69	1132.0	0.8683	1.2804	**640**
645	2132.4	0.02631	0.1709	687.21	1126.1	0.8757	1.2729	**645**
650	2207.7	0.02672	0.1618	695.99	1119.7	0.8833	1.2651	**650**
655	2285.2	0.02717	0.1530	705.06	1112.8	0.8911	1.2569	**655**
660	2364.8	0.02766	0.1444	714.47	1105.3	0.8991	1.2482	**660**
665	2446.8	0.02821	0.1359	724.30	1097.2	0.9075	1.2390	**665**
670	2531.2	0.02883	0.1276	734.63	1088.1	0.9163	1.2292	**670**
675	2618.0	0.02953	0.1194	745.57	1078.0	0.9255	1.2185	**675**
680	2707.3	0.03035	0.1112	757.30	1066.6	0.9354	1.2068	**680**
685	2799.3	0.03133	0.1030	770.10	1053.5	0.9462	1.1937	**685**
690	2894.2	0.03256	0.09444	784.45	1037.9	0.9582	1.1786	**690**
695	2991.9	0.03422	0.08531	801.35	1018.3	0.9723	1.1602	**695**
700	3092.9	0.03683	0.07456	823.64	990.64	0.9910	1.1350	**700**
705	3197.9	0.04652	0.05338	882.44	913.89	1.0409	1.0679	**705**
T_c	3200.1	0.04975	0.04975	897.48	897.48	1.0538	1.0538	T_c

Table 2. Properties of Saturated Water and Steam (Pressure)

Pressure psia	Temp. °F	Volume, ft^3/lb_m v_L	v_V	Enthalpy, Btu/lb_m h_L	h_V	Entropy, $Btu/(lb_m \cdot °R)$ s_L	s_V	Pressure psia
0.1	35.00	0.016020	2945.0	3.009	1076.5	0.0061	2.1762	**0.1**
0.2	53.13	0.016027	1525.9	21.204	1084.4	0.0422	2.1156	**0.2**
0.3	64.45	0.016042	1039.4	32.532	1089.4	0.0641	2.0805	**0.3**
0.5	79.55	0.016073	641.32	47.618	1095.9	0.0925	2.0366	**0.5**
0.7	90.05	0.016100	466.81	58.100	1100.4	0.1117	2.0079	**0.7**
1.0	101.69	0.016137	333.51	69.728	1105.4	0.1326	1.9776	**1.0**
1.5	115.64	0.016187	227.68	83.650	1111.4	0.1571	1.9435	**1.5**
2.0	126.03	0.016230	173.72	94.019	1115.8	0.1750	1.9195	**2.0**
3.0	141.42	0.016299	118.70	109.39	1122.2	0.2009	1.8858	**3.0**
4.0	152.91	0.016356	90.628	120.89	1126.9	0.2198	1.8621	**4.0**
6	170.00	0.016449	61.979	137.99	1133.9	0.2474	1.8290	**6**
8	182.81	0.016524	47.345	150.83	1139.0	0.2675	1.8056	**8**
10	193.16	0.016589	38.423	161.22	1143.1	0.2836	1.7875	**10**
12	201.91	0.016646	32.398	170.02	1146.4	0.2969	1.7728	**12**
14	209.52	0.016697	28.048	177.68	1149.4	0.3084	1.7605	**14**
16	216.27	0.016745	24.755	184.49	1151.9	0.3186	1.7497	**16**
18	222.36	0.016788	22.173	190.63	1154.2	0.3276	1.7403	**18**
20	227.92	0.016829	20.092	196.25	1156.2	0.3358	1.7319	**20**
25	240.03	0.016922	16.306	208.51	1160.5	0.3534	1.7141	**25**
30	250.30	0.017003	13.748	218.93	1164.1	0.3682	1.6995	**30**
35	259.25	0.017078	11.900	228.03	1167.2	0.3809	1.6873	**35**
40	267.22	0.017146	10.500	236.15	1169.8	0.3921	1.6766	**40**
45	274.42	0.017209	9.4023	243.50	1172.2	0.4022	1.6672	**45**
50	280.99	0.017268	8.5171	250.23	1174.2	0.4113	1.6588	**50**
55	287.06	0.017325	7.7878	256.45	1176.1	0.4196	1.6512	**55**
60	292.69	0.017378	7.1762	262.24	1177.8	0.4273	1.6443	**60**
65	297.96	0.017429	6.6557	267.66	1179.4	0.4345	1.6378	**65**
70	302.92	0.017477	6.2071	272.76	1180.8	0.4412	1.6319	**70**
75	307.59	0.017524	5.8164	277.59	1182.1	0.4475	1.6264	**75**
80	312.03	0.017569	5.4730	282.18	1183.3	0.4534	1.6212	**80**
85	316.25	0.017613	5.1686	286.55	1184.5	0.4590	1.6163	**85**
90	320.27	0.017655	4.8969	290.73	1185.6	0.4644	1.6117	**90**
95	324.12	0.017696	4.6528	294.73	1186.6	0.4695	1.6073	**95**
100	327.82	0.017736	4.4324	298.57	1187.5	0.4744	1.6032	**100**
110	334.78	0.017813	4.0496	305.84	1189.2	0.4835	1.5954	**110**
120	341.26	0.017886	3.7286	312.62	1190.7	0.4920	1.5883	**120**
130	347.33	0.017956	3.4554	318.98	1192.1	0.4998	1.5818	**130**
140	353.04	0.018023	3.2199	324.99	1193.4	0.5072	1.5757	**140**
150	358.43	0.018089	3.0148	330.68	1194.5	0.5141	1.5700	**150**
160	363.55	0.018152	2.8345	336.10	1195.5	0.5207	1.5647	**160**
170	368.43	0.018213	2.6746	341.27	1196.5	0.5269	1.5596	**170**
180	373.08	0.018272	2.5320	346.21	1197.3	0.5328	1.5549	**180**
190	377.54	0.018330	2.4038	350.96	1198.1	0.5385	1.5503	**190**
200	381.81	0.018387	2.2880	355.53	1198.8	0.5439	1.5460	**200**
210	385.92	0.018442	2.1829	359.94	1199.5	0.5491	1.5419	**210**

Table 2. Properties of Saturated Water and Steam (Pressure)

Pressure psia	Temp. °F	Volume, ft^3/lb_m v_L	v_V	Enthalpy, Btu/lb_m h_L	h_V	Entropy, $Btu/(lb_m \cdot °R)$ s_L	s_V	Pressure psia
220	389.89	0.018496	2.0870	364.19	1200.1	0.5541	1.5379	220
230	393.71	0.018549	1.9992	368.30	1200.6	0.5588	1.5342	230
240	397.41	0.018601	1.9184	372.29	1201.1	0.5635	1.5305	240
250	400.98	0.018653	1.8439	376.16	1201.6	0.5679	1.5270	250
260	404.45	0.018703	1.7749	379.92	1202.0	0.5723	1.5236	260
270	407.82	0.018753	1.7108	383.58	1202.4	0.5764	1.5203	270
280	411.09	0.018801	1.6512	387.14	1202.8	0.5805	1.5172	280
290	414.27	0.018849	1.5955	390.61	1203.1	0.5844	1.5141	290
300	417.37	0.018897	1.5434	394.00	1203.4	0.5883	1.5111	300
320	423.33	0.018990	1.4487	400.54	1203.9	0.5956	1.5054	320
340	429.01	0.019081	1.3647	406.81	1204.3	0.6026	1.5000	340
360	434.43	0.019170	1.2898	412.82	1204.6	0.6093	1.4949	360
380	439.63	0.019257	1.2224	418.60	1204.9	0.6156	1.4900	380
400	444.63	0.019343	1.1616	424.16	1205.0	0.6217	1.4853	400
420	449.43	0.019427	1.1064	429.56	1205.1	0.6276	1.4807	420
440	454.06	0.019510	1.0560	434.76	1205.2	0.6333	1.4764	440
460	458.53	0.019592	1.0098	439.84	1205.2	0.6387	1.4722	460
480	462.86	0.019672	0.9673	444.75	1205.1	0.6440	1.4682	480
500	467.05	0.019752	0.9282	449.53	1205.0	0.6490	1.4643	500
520	471.11	0.019831	0.8919	454.19	1204.9	0.6540	1.4605	520
540	475.05	0.019909	0.8582	458.72	1204.7	0.6588	1.4568	540
560	478.89	0.019987	0.8268	463.15	1204.4	0.6634	1.4532	560
580	482.62	0.02006	0.7976	467.48	1204.2	0.6679	1.4498	580
600	486.25	0.02014	0.7702	471.71	1203.9	0.6723	1.4464	600
620	489.79	0.02022	0.7445	475.85	1203.5	0.6766	1.4430	620
640	493.24	0.02029	0.7203	479.91	1203.2	0.6808	1.4398	640
660	496.62	0.02037	0.6976	483.88	1202.8	0.6849	1.4367	660
680	499.91	0.02044	0.6761	487.79	1202.4	0.6889	1.4336	680
700	503.14	0.02051	0.6559	491.62	1201.9	0.6928	1.4305	700
720	506.29	0.02059	0.6367	495.38	1201.4	0.6966	1.4276	720
740	509.38	0.02066	0.6185	499.08	1200.9	0.7004	1.4246	740
760	512.40	0.02073	0.6012	502.72	1200.4	0.7040	1.4218	760
780	515.36	0.02081	0.5848	506.30	1199.9	0.7076	1.4190	780
800	518.27	0.02088	0.5692	509.83	1199.3	0.7112	1.4162	800
820	521.12	0.02095	0.5543	513.30	1198.7	0.7146	1.4135	820
840	523.92	0.02102	0.5401	516.73	1198.1	0.7181	1.4108	840
860	526.67	0.02110	0.5265	520.10	1197.5	0.7214	1.4082	860
880	529.37	0.02117	0.5135	523.43	1196.8	0.7247	1.4056	880
900	532.02	0.02124	0.5011	526.72	1196.2	0.7279	1.4030	900
920	534.63	0.02131	0.4892	529.96	1195.5	0.7311	1.4005	920
940	537.20	0.02138	0.4777	533.17	1194.8	0.7343	1.3980	940
960	539.72	0.02146	0.4667	536.34	1194.1	0.7374	1.3955	960
980	542.21	0.02153	0.4562	539.47	1193.3	0.7404	1.3930	980
1000	544.65	0.02160	0.4461	542.56	1192.6	0.7434	1.3906	1000
1050	550.61	0.02178	0.4223	550.15	1190.6	0.7507	1.3847	1050

Table 2. Properties of Saturated Water and Steam (Pressure)

Pressure psia	Temp. °F	Volume, ft^3/lb_m v_L	v_V	Enthalpy, Btu/lb_m h_L	h_V	Entropy, $Btu/(lb_m \cdot °R)$ s_L	s_V	Pressure psia
1100	556.35	0.02196	0.4006	557.55	1188.6	0.7578	1.3789	**1100**
1150	561.90	0.02214	0.3808	564.77	1186.4	0.7647	1.3733	**1150**
1200	567.26	0.02233	0.3625	571.84	1184.2	0.7714	1.3677	**1200**
1250	572.46	0.02251	0.3456	578.76	1181.9	0.7780	1.3623	**1250**
1300	577.50	0.02270	0.3299	585.55	1179.5	0.7843	1.3570	**1300**
1350	582.39	0.02288	0.3153	592.21	1177.0	0.7905	1.3517	**1350**
1400	587.14	0.02307	0.3017	598.77	1174.4	0.7966	1.3465	**1400**
1450	591.75	0.02327	0.2890	605.23	1171.8	0.8025	1.3414	**1450**
1500	596.27	0.02346	0.2770	611.59	1169.0	0.8084	1.3363	**1500**
1550	600.66	0.02366	0.2658	617.87	1166.2	0.8141	1.3312	**1550**
1600	604.93	0.02386	0.2553	624.07	1163.3	0.8197	1.3262	**1600**
1650	609.11	0.02407	0.2453	630.21	1160.3	0.8253	1.3212	**1650**
1700	613.19	0.02428	0.2358	636.28	1157.2	0.8307	1.3163	**1700**
1750	617.18	0.02449	0.2269	642.30	1154.0	0.8361	1.3113	**1750**
1800	621.07	0.02471	0.2184	648.27	1150.7	0.8415	1.3063	**1800**
1850	624.89	0.02493	0.2103	654.20	1147.3	0.8467	1.3014	**1850**
1900	628.62	0.02516	0.2026	660.09	1143.8	0.8519	1.2964	**1900**
1950	632.27	0.02539	0.1952	665.96	1140.2	0.8571	1.2914	**1950**
2000	635.85	0.02563	0.1882	671.80	1136.5	0.8622	1.2864	**2000**
2050	639.36	0.02588	0.1814	677.62	1132.7	0.8673	1.2814	**2050**
2100	642.81	0.02614	0.1750	683.44	1128.7	0.8724	1.2763	**2100**
2150	646.18	0.02640	0.1687	689.26	1124.6	0.8774	1.2711	**2150**
2200	649.50	0.02668	0.1627	695.09	1120.4	0.8825	1.2659	**2200**
2250	652.75	0.02696	0.1569	700.93	1116.0	0.8875	1.2606	**2250**
2300	655.94	0.02726	0.1514	706.80	1111.5	0.8926	1.2553	**2300**
2350	659.08	0.02757	0.1459	712.71	1106.8	0.8976	1.2498	**2350**
2400	662.16	0.02789	0.1407	718.67	1101.9	0.9027	1.2443	**2400**
2450	665.19	0.02823	0.1356	724.69	1095.8	0.9078	1.2387	**2450**
2500	668.17	0.02859	0.1307	730.78	1091.5	0.9130	1.2329	**2500**
2550	671.10	0.02897	0.1258	736.97	1085.0	0.9183	1.2269	**2550**
2600	673.98	0.02938	0.1211	743.27	1080.2	0.9236	1.2208	**2600**
2650	676.81	0.02981	0.1165	749.71	1074.1	0.9290	1.2144	**2650**
2700	679.60	0.03028	0.1119	756.32	1067.6	0.9346	1.2078	**2700**
2750	682.34	0.03078	0.1074	763.13	1060.7	0.9403	1.2009	**2750**
2800	685.03	0.03134	0.1029	770.20	1053.4	0.9462	1.1936	**2800**
2850	687.69	0.03195	0.09843	777.59	1045.5	0.9524	1.1859	**2850**
2900	690.30	0.03264	0.09391	785.39	1036.8	0.9590	1.1776	**2900**
2950	692.88	0.03344	0.08930	793.75	1027.3	0.9660	1.1686	**2950**
3000	695.41	0.03438	0.08453	802.90	1016.5	0.9736	1.1585	**3000**
3050	697.90	0.03554	0.07945	813.22	1003.8	0.9823	1.1469	**3050**
3100	700.35	0.03708	0.07361	825.57	988.14	0.9926	1.1328	**3100**
3150	702.75	0.03947	0.06686	842.34	966.17	1.0068	1.1133	**3150**
3200	705.10	0.04897	0.05052	893.85	901.07	1.0507	1.0569	**3200**
p_c	705.1028	0.04975	0.04975	897.48	897.48	1.0538	1.0538	p_c

p_c = 3200.11psia

Table 3. Superheated Steam

Pressure psia (Sat. T)		Temperature—Degrees Fahrenheit 200	250	300	350	400	450	500	600	700	800	900	1000	1200
1	*v*	392.53	422.42	452.28	482.11	511.93	541.74	571.55	631.15	690.74	750.32	809.91	869.48	988.64
(101.69)	*h*	1150.1	1172.8	1195.7	1218.6	1241.8	1265.1	1288.6	1336.2	1384.6	1433.9	1484.1	1535.1	1640.0
	s	2.0510	2.0842	2.1152	2.1445	2.1723	2.1986	2.2238	2.2710	2.3146	2.3554	2.3937	2.4299	2.4973
5	*v*	78.155	84.220	90.248	96.254	102.25	108.23	114.21	126.15	138.09	150.02	161.94	173.87	197.71
(162.18)	*h*	1148.5	1171.7	1194.8	1218.0	1241.3	1264.7	1288.2	1335.9	1384.4	1433.7	1483.9	1535.0	1640.0
	s	1.8716	1.9055	1.9370	1.9665	1.9944	2.0209	2.0461	2.0934	2.1371	2.1779	2.2162	2.2525	2.3198
10	*v*	38.851	41.942	44.993	48.022	51.036	54.042	57.042	63.030	69.008	74.980	80.949	86.915	98.841
(193.16)	*h*	1146.4	1170.2	1193.8	1217.2	1240.6	1264.1	1287.8	1335.6	1384.2	1433.5	1483.8	1534.9	1639.9
	s	1.7926	1.8275	1.8595	1.8893	1.9174	1.9440	1.9693	2.0167	2.0606	2.1013	2.1397	2.1760	2.2434
15	*v*		27.846	29.906	31.943	33.966	35.979	37.986	41.988	45.981	49.968	53.950	57.931	65.885
(212.99)	*h*		1168.7	1192.7	1216.3	1239.9	1263.6	1287.3	1335.3	1383.9	1433.3	1483.6	1534.7	1639.8
	s		1.7811	1.8137	1.8438	1.8721	1.8989	1.9243	1.9718	2.0156	2.0565	2.0949	2.1312	2.1986
20	*v*		20.796	22.362	23.903	25.430	26.947	28.458	31.467	34.467	37.461	40.451	43.438	49.408
(227.92)	*h*		1167.2	1191.6	1215.5	1239.3	1263.0	1286.9	1334.9	1383.6	1433.1	1483.4	1534.6	1639.7
	s		1.7477	1.7808	1.8113	1.8398	1.8667	1.8922	1.9398	1.9838	2.0247	2.0631	2.0994	2.1669
25	*v*		16.565	17.835	19.079	20.308	21.528	22.741	25.155	27.559	29.957	32.352	34.743	39.521
(240.03)	*h*		1165.6	1190.4	1214.6	1238.6	1262.5	1286.4	1334.6	1383.4	1432.9	1483.3	1534.5	1639.6
	s		1.7213	1.7551	1.7859	1.8146	1.8417	1.8673	1.9150	1.9590	2.0000	2.0384	2.0748	2.1422
30	*v*			14.816	15.863	16.894	17.915	18.930	20.947	22.954	24.955	26.952	28.946	32.930
(250.30)	*h*			1189.3	1213.6	1237.9	1261.9	1286.0	1334.3	1383.1	1432.7	1483.1	1534.3	1639.5
	s			1.7336	1.7650	1.7939	1.8211	1.8468	1.8947	1.9387	1.9797	2.0182	2.0546	2.1221
35	*v*			12.659	13.565	14.455	15.334	16.207	17.941	19.664	21.381	23.095	24.806	28.222
(259.25)	*h*			1188.1	1212.9	1237.2	1261.4	1285.5	1333.9	1382.9	1432.5	1482.9	1534.2	1639.4
	s			1.7156	1.7472	1.7764	1.8037	1.8295	1.8774	1.9216	1.9626	2.0011	2.0375	2.1050
40	*v*			11.041	11.841	12.625	13.398	14.165	15.686	17.197	18.702	20.202	21.700	24.691
(267.22)	*h*			1186.9	1212.0	1236.5	1260.8	1285.0	1333.6	1382.6	1432.3	1482.7	1534.0	1639.3
	s			1.6996	1.7316	1.7610	1.7885	1.8144	1.8625	1.9067	1.9478	1.9863	2.0227	2.0903
45	*v*			9.7814	10.500	11.202	11.893	12.577	13.933	15.278	16.617	17.952	19.285	21.945
(274.42)	*h*			1185.7	1211.1	1235.9	1260.3	1284.6	1333.2	1382.3	1432.1	1482.6	1533.9	1639.2
	s			1.6854	1.7178	1.7474	1.7750	1.8010	1.8493	1.8935	1.9347	1.9733	2.0097	2.0772
50	*v*			8.7735	9.4273	10.063	10.688	11.306	12.530	13.743	14.950	16.153	17.353	19.748
(280.99)	*h*			1184.5	1210.2	1235.1	1259.7	1284.1	1332.9	1382.1	1431.9	1482.4	1533.8	1639.1
	s			1.6724	1.7053	1.7352	1.7629	1.7891	1.8374	1.8818	1.9229	1.9615	1.9980	2.0656
55	*v*			7.9484	8.5492	9.1315	9.7027	10.267	11.382	12.487	13.585	14.680	15.772	17.951
(287.06)	*h*			1183.2	1209.3	1234.4	1259.1	1283.6	1332.6	1381.8	1431.7	1482.2	1533.6	1639.0
	s			1.6606	1.6939	1.7240	1.7520	1.7782	1.8267	1.8711	1.9123	1.9509	1.9874	2.0550
60	*v*			7.2604	7.8173	8.3549	8.6813	9.4004	10.425	11.440	12.448	13.453	14.454	16.453
(292.69)	*h*			1181.9	1208.4	1233.7	1258.6	1283.2	1332.2	1381.5	1431.4	1482.1	1533.5	1638.9
	s			1.6496	1.6834	1.7138	1.7419	1.7682	1.8168	1.8613	1.9026	1.9413	1.9777	2.0454
65	*v*			6.6776	7.1978	7.6978	8.1862	8.6673	9.6160	10.554	11.486	12.414	13.340	15.185
(297.96)	*h*			1180.5	1207.4	1233.0	1258.0	1282.7	1331.9	1381.3	1431.2	1481.9	1533.3	1638.8
	s			1.6394	1.6737	1.7043	1.7326	1.7590	1.8076	1.8523	1.8937	1.9323	1.9688	2.0365
70	*v*				6.6666	7.1344	7.5904	8.0389	8.9223	9.7951	10.662	11.524	12.384	14.099
(302.92)	*h*				1206.5	1232.3	1257.4	1282.2	1331.5	1381.0	1431.0	1481.7	1533.2	1638.7
	s				1.6646	1.6955	1.7239	1.7505	1.7994	1.8440	1.8854	1.9241	1.9606	2.0283

Table 3 (continued). Superheated Steam

Pressure psia (Sat. T)		Temperature—Degrees Fahrenheit 350	400	450	500	550	600	700	800	900	1000	1100	1200	1400
80	*v*	5.8030	6.2186	6.6220	7.0176	7.4081	7.7949	8.5614	9.3216	10.078	10.831	11.583	12.333	13.831
(312.03)	*h*	1204.5	1230.8	1256.2	1281.3	1306.1	1330.6	1380.5	1430.6	1481.4	1532.9	1585.3	1638.5	1747.5
	s	1.6460	1.6795	1.7082	1.7350	1.7602	1.7842	1.8289	1.8704	1.9092	1.9457	1.9804	2.0135	2.0755
90	*v*	5.1307	5.5061	5.8686	6.2232	6.5724	6.9180	7.6019	8.2794	8.9529	9.6237	10.293	10.960	12.292
(320.27)	*h*	1202.5	1229.3	1255.1	1280.3	1305.3	1330.1	1380.0	1430.2	1481.0	1532.6	1585.0	1638.3	1747.4
	s	1.6330	1.6651	1.6943	1.7213	1.7466	1.7707	1.8156	1.8572	1.8960	1.9326	1.9673	2.0004	2.0625
100	*v*	4.5923	4.9358	5.2658	5.5875	5.9039	6.2165	6.8342	7.4456	8.0529	8.6576	9.2602	9.8615	11.061
(327.82)	*h*	1200.4	1227.8	1253.9	1279.3	1304.5	1329.5	1379.4	1429.8	1480.7	1532.3	1584.8	1638.1	1747.2
	s	1.6194	1.6521	1.6816	1.7089	1.7344	1.7586	1.8037	1.8453	1.8842	1.9209	1.9556	1.9887	2.0508
110	*v*	4.1513	4.4689	4.7724	5.0674	5.3568	5.6424	6.2061	6.7634	7.3166	7.8671	8.4156	8.9627	10.054
(334.78)	*h*	1198.3	1226.2	1252.6	1278.3	1303.6	1328.8	1378.9	1429.4	1480.4	1532.1	1584.6	1637.9	1747.1
	s	1.6068	1.6402	1.6701	1.6976	1.7233	1.7475	1.7928	1.8345	1.8735	1.9102	1.9450	1.9781	2.0402
120	*v*	3.7832	4.0796	4.3611	4.6339	4.9009	5.1640	5.6827	6.1949	6.7030	7.2083	7.7117	8.2137	9.2148
(341.26)	*h*	1196.1	1224.6	1251.4	1277.3	1302.8	1328.1	1378.4	1428.9	1480.0	1531.8	1584.3	1637.7	1746.9
	s	1.5950	1.6292	1.6595	1.6872	1.7131	1.7375	1.7829	1.8247	1.8637	1.9005	1.9353	1.9684	2.0306
130	*v*	3.4711	3.7500	4.0130	4.2670	4.5151	4.7592	5.2398	5.7138	6.1838	6.6509	7.1162	7.5800	8.5047
(347.33)	*h*	1193.8	1223.0	1250.2	1276.3	1302.0	1327.3	1377.8	1428.5	1479.7	1531.5	1584.1	1637.5	1746.8
	s	1.5839	1.6189	1.6496	1.6776	1.7037	1.7282	1.7737	1.8156	1.8547	1.8915	1.9263	1.9595	2.0217
140	*v*		3.4673	3.7145	3.9524	4.1843	4.4122	4.8602	5.3015	5.7387	6.1732	6.6057	7.0368	7.8960
(353.04)	*h*		1221.4	1248.9	1275.3	1301.1	1326.6	1377.3	1428.1	1479.3	1531.2	1583.8	1637.3	1746.7
	s		1.6092	1.6404	1.6687	1.6949	1.7195	1.7652	1.8072	1.8464	1.8832	1.9180	1.9512	2.0135
150	*v*		3.2220	3.4567	3.6797	3.8976	4.1115	4.5311	4.9441	5.3530	5.7591	6.1632	6.5660	7.3685
(358.43)	*h*		1219.7	1247.6	1274.3	1300.3	1325.9	1376.8	1427.7	1479.0	1530.9	1583.6	1637.1	1746.5
	s		1.6001	1.6317	1.6602	1.6866	1.7114	1.7573	1.7994	1.8386	1.8754	1.9103	1.9435	2.0058
160	*v*		3.0073	3.2291	3.4411	3.6468	3.8483	4.2432	4.6314	5.0155	5.3968	5.7761	6.1540	6.9069
(363.55)	*h*		1218.0	1246.3	1273.3	1299.5	1325.2	1376.2	1427.2	1478.7	1530.7	1583.4	1636.9	1746.4
	s		1.5914	1.6235	1.6523	1.6789	1.7038	1.7498	1.7920	1.8313	1.8682	1.9031	1.9363	1.9986
170	*v*		2.8176	3.0291	3.2304	3.4253	3.6160	3.9892	4.3555	4.7177	5.0771	5.4345	5.7905	6.4996
(368.43)	*h*		1216.3	1245.0	1272.2	1298.6	1324.5	1375.7	1426.8	1478.3	1530.4	1583.1	1636.7	1746.2
	s		1.5831	1.6157	1.6449	1.6716	1.6966	1.7428	1.7851	1.8244	1.8613	1.8963	1.9296	1.9919
180	*v*		2.6487	2.8512	3.0431	3.2285	3.4095	3.7633	4.1103	4.4530	4.7929	5.1309	5.4674	6.1376
(373.06)	*h*		1214.5	1243.7	1271.2	1297.7	1323.8	1375.1	1426.4	1478.0	1530.1	1582.9	1636.5	1746.1
	s		1.5752	1.6082	1.6377	1.6646	1.6898	1.7361	1.7785	1.8179	1.8549	1.8899	1.9232	1.9855
190	*v*		2.4975	2.6920	2.8755	3.0524	3.2248	3.5613	3.8908	4.2161	4.5387	4.8592	5.1784	5.8137
(377.54)	*h*		1212.7	1242.4	1270.1	1296.9	1323.0	1374.6	1426.0	1477.6	1529.8	1582.7	1636.3	1745.9
	s		1.5676	1.6011	1.6309	1.6580	1.6833	1.7296	1.7723	1.8118	1.8488	1.8838	1.9171	1.9795
200	*v*		2.3612	2.5485	2.7246	2.8936	3.0585	3.3794	3.6933	4.0030	4.3098	4.6147	4.9162	5.5222
(381.81)	*h*		1210.9	1241.0	1269.1	1296.0	1322.3	1374.1	1425.5	1477.3	1529.5	1582.4	1636.1	1745.8
	s		1.5602	1.5943	1.6243	1.6517	1.6771	1.7238	1.7664	1.8059	1.8430	1.8780	1.9114	1.9738
220	*v*		2.1252	2.3006	2.4638	2.6196	2.7712	3.0652	3.3521	3.6348	3.9146	4.1924	4.4688	5.0186
(389.80)	*h*		1207.0	1238.3	1266.9	1294.3	1320.8	1373.0	1424.7	1476.6	1529.0	1581.9	1635.7	1745.5
	s		1.5461	1.5814	1.6121	1.6399	1.6656	1.7126	1.7554	1.7950	1.8322	1.8673	1.9007	1.9631
240	*v*		1.9277	2.0936	2.2462	2.3914	2.5317	2.8034	3.0678	3.3279	3.5852	3.8404	4.0943	4.5990
(397.41)	*h*		1203.0	1235.4	1264.7	1292.5	1319.4	1371.9	1423.8	1475.9	1528.4	1581.5	1635.3	1745.2
	s		1.5327	1.5694	1.6007	1.6289	1.6549	1.7023	1.7453	1.7851	1.8223	1.8575	1.8909	1.9534

Table 3 (continued). Superheated Steam

Pressure psia (Sat. T)		Temperature—Degrees Fahrenheit												
		450	500	550	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
260	*v*	1.9182	2.0620	2.1980	2.3290	2.5818	2.8272	3.0683	3.3055	3.5426	3.7774	4.0111	4.2439	4.4763
(404.45)	*h*	1232.5	1262.5	1290.7	1317.9	1370.8	1423.0	1475.2	1527.8	1581.0	1634.9	1689.5	1744.9	1801.1
	s	1.5580	1.5901	1.6188	1.6450	1.6928	1.7359	1.7758	1.8132	1.8484	1.8819	1.9138	1.9445	1.9739
280	*v*	1.7676	1.9039	2.0322	2.1552	2.3919	2.6210	2.8457	3.0676	3.2874	3.5058	3.7231	3.9396	4.1556
(411.09)	*h*	1229.5	1260.2	1288.8	1316.3	1369.7	1422.1	1474.5	1527.2	1580.5	1634.5	1689.1	1744.6	1800.8
	s	1.5473	1.5801	1.6092	1.6358	1.6839	1.7273	1.7673	1.8047	1.8400	1.8735	1.9055	1.9362	1.9656
300	*v*	1.6367	1.7668	1.8883	2.0045	2.2272	2.4423	2.6529	2.8605	3.0662	3.2704	3.4735	3.6758	3.8776
(417.37)	*h*	1226.4	1257.9	1287.0	1314.8	1368.5	1421.2	1473.8	1526.7	1580.0	1634.0	1688.8	1744.3	1800.6
	s	1.5370	1.5706	1.6002	1.6271	1.6756	1.7191	1.7593	1.7968	1.8322	1.8657	1.8978	1.9284	1.9579
320	*v*	1.5219	1.6467	1.7624	1.8726	2.0831	2.2859	2.4841	2.6793	2.8726	3.0644	3.2551	3.4450	3.6344
(423.33)	*h*	1223.3	1255.5	1285.1	1313.3	1367.4	1420.4	1473.1	1526.1	1579.6	1633.6	1688.4	1744.0	1800.3
	s	1.5271	1.5615	1.5916	1.6189	1.6677	1.7115	1.7518	1.7894	1.8248	1.8584	1.8905	1.9212	1.9507
340	*v*	1.4203	1.5405	1.6512	1.7562	1.9560	2.1478	2.3351	2.5195	2.7016	2.8826	3.0624	3.2414	3.4198
(429.01)	*h*	1220.0	1253.1	1283.2	1311.7	1366.3	1419.5	1472.4	1525.5	1579.1	1633.2	1688.1	1743.7	1800.1
	s	1.5175	1.5529	1.5835	1.6111	1.6603	1.7043	1.7447	1.7824	1.8179	1.8516	1.8837	1.9144	1.9439
360	*v*	1.3297	1.4460	1.5523	1.6527	1.8429	2.0252	2.2028	2.3774	2.5500	2.7211	2.8911	3.0604	3.2291
(434.43)	*h*	1216.6	1250.6	1281.3	1310.1	1365.2	1418.6	1471.7	1525.0	1578.6	1632.8	1687.7	1743.4	1799.8
	s	1.5082	1.5446	1.5757	1.6036	1.6533	1.6975	1.7381	1.7758	1.8114	1.8451	1.8772	1.9080	1.9375
380	*v*	1.2483	1.3613	1.4637	1.5600	1.7418	1.9154	2.0843	2.2502	2.4141	2.5765	2.7379	2.8984	3.0584
(439.63)	*h*	1213.1	1248.1	1279.3	1308.5	1364.0	1417.8	1471.0	1524.4	1578.1	1632.4	1687.4	1743.1	1799.5
	s	1.4991	1.5365	1.5683	1.5965	1.6466	1.6910	1.7317	1.7696	1.8052	1.8389	1.8711	1.9019	1.9314
400	*v*	1.1747	1.2850	1.3839	1.4765	1.6507	1.8166	1.9777	2.1358	2.2919	2.4464	2.6000	2.7527	2.9048
(444.63)	*h*	1209.5	1245.6	1277.3	1306.9	1362.9	1416.9	1470.3	1523.8	1577.7	1632.0	1687.0	1742.8	1799.3
	s	1.4901	1.5288	1.5611	1.5897	1.6402	1.6848	1.7257	1.7636	1.7993	1.8331	1.8653	1.8961	1.9257
450	*v*		1.1232	1.2151	1.3001	1.4584	1.6079	1.7526	1.8942	2.0337	2.1718	2.3088	2.4449	2.5805
(456.32)	*h*		1238.9	1272.2	1302.8	1360.0	1414.7	1468.6	1522.4	1576.5	1631.0	1686.2	1742.0	1798.6
	s		1.5103	1.5442	1.5737	1.6253	1.6705	1.7117	1.7499	1.7857	1.8196	1.8519	1.8828	1.9124
500	*v*		0.9930	1.0797	1.1587	1.3044	1.4409	1.5725	1.7009	1.8272	1.9521	2.0758	2.1987	2.3211
(467.05)	*h*		1231.9	1267.0	1298.6	1357.0	1412.4	1466.8	1520.9	1575.3	1630.0	1685.3	1741.3	1798.0
	s		1.4928	1.5284	1.5591	1.6117	1.6576	1.6991	1.7375	1.7735	1.8076	1.8399	1.8708	1.9005
550	*v*		0.8856	0.9685	1.0428	1.1783	1.3043	1.4251	1.5428	1.6583	1.7723	1.8852	1.9973	2.1088
(476.98)	*h*		1224.5	1261.5	1294.3	1354.0	1410.2	1465.0	1519.5	1574.0	1629.0	1684.4	1740.5	1797.3
	s		1.4760	1.5137	1.5454	1.5993	1.6457	1.6876	1.7263	1.7624	1.7966	1.8290	1.8600	1.8898
600	*v*		0.7953	0.8754	0.9460	1.0732	1.1904	1.3023	1.4110	1.5175	1.6225	1.7264	1.8295	1.9320
(486.25)	*h*		1216.5	1255.8	1289.9	1351.0	1407.9	1463.2	1518.0	1572.8	1628.0	1683.6	1739.8	1796.7
	s		1.4597	1.4996	1.5325	1.5877	1.6348	1.6770	1.7159	1.7523	1.7865	1.8190	1.8501	1.8799
650	*v*		0.7178	0.7962	0.8639	0.9841	1.0940	1.1983	1.2994	1.3983	1.4957	1.5920	1.6874	1.7823
(494.94)	*h*		1208.0	1249.9	1285.3	1347.9	1405.6	1461.4	1516.6	1571.6	1626.9	1682.7	1739.0	1796.0
	s		1.4434	1.4861	1.5203	1.5768	1.6246	1.6672	1.7063	1.7428	1.7772	1.8098	1.8410	1.8708
700	*v*			0.7280	0.7933	0.9077	1.0113	1.1092	1.2038	1.2962	1.3871	1.4768	1.5657	1.6540
(503.14)	*h*			1243.7	1280.6	1344.8	1403.3	1459.6	1515.1	1570.4	1625.9	1681.8	1738.3	1795.4
	s			1.4730	1.5087	1.5666	1.6150	1.6580	1.6974	1.7341	1.7686	1.8013	1.8325	1.8624
750	*v*			0.6684	0.7319	0.8414	0.9396	1.0320	1.1209	1.2077	1.2929	1.3770	1.4602	1.5428
(510.90)	*h*			1237.3	1275.8	1341.6	1401.0	1457.8	1513.6	1569.2	1624.9	1681.0	1737.5	1794.7
	s			1.4602	1.4975	1.5569	1.6060	1.6494	1.6890	1.7259	1.7605	1.7933	1.8245	1.8545

Table 3 (continued). Superheated Steam

Pressure psia (Sat. T)		Temperature—Degrees Fahrenheit 550	600	650	700	750	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
800	*v*	0.6159	0.6760	0.7328	0.7834	0.8311	0.8768	0.9643	1.0484	1.1302	1.2105	1.2896	1.3679	1.4456
(518.27)	*h*	1230.5	1270.8	1306.0	1338.4	1369.0	1398.6	1456.0	1512.1	1568.0	1623.9	1680.1	1736.8	1794.0
	s	1.4476	1.4866	1.5191	1.5476	1.5735	1.5975	1.6413	1.6812	1.7182	1.7529	1.7858	1.8171	1.8471
850	*v*	0.5691	0.6302	0.6834	0.7320	0.7777	0.8214	0.9047	0.9844	1.0619	1.1378	1.2125	1.2864	1.3597
(525.30)	*h*	1223.4	1265.7	1302.0	1335.1	1366.3	1396.2	1454.1	1510.7	1566.7	1622.8	1679.2	1736.0	1793.4
	s	1.4351	1.4761	1.5096	1.5388	1.5651	1.5894	1.6336	1.6737	1.7109	1.7457	1.7787	1.8101	1.8401
900	*v*	0.5269	0.5875	0.6394	0.6864	0.7303	0.7721	0.8516	0.9275	1.0011	1.0731	1.1440	1.2140	1.2834
(532.02)	*h*	1215.8	1260.4	1297.9	1331.8	1363.5	1393.6	1452.3	1509.2	1565.5	1621.8	1678.3	1735.3	1792.7
	s	1.4226	1.4658	1.5004	1.5302	1.5570	1.5816	1.6262	1.6666	1.7040	1.7389	1.7720	1.8035	1.8336
950	*v*	0.4887	0.5491	0.5998	0.6454	0.6878	0.7280	0.8041	0.8766	0.9467	1.0153	1.0827	1.1492	1.2152
(538.46)	*h*	1207.8	1254.9	1293.7	1328.4	1360.6	1391.4	1450.4	1507.7	1564.3	1620.8	1677.4	1734.5	1792.1
	s	1.4100	1.4557	1.4914	1.5220	1.5492	1.5742	1.6192	1.6599	1.6974	1.7325	1.7657	1.7972	1.8273
1000	*v*	0.4538	0.5143	0.5641	0.6085	0.6495	0.6883	0.7614	0.8308	0.8976	0.9632	1.0275	1.0909	1.1537
(544.65)	*h*	1199.1	1249.3	1289.4	1324.9	1357.8	1389.0	1448.5	1506.2	1563.0	1619.7	1676.6	1733.7	1791.4
	s	1.3971	1.4457	1.4827	1.5140	1.5418	1.5670	1.6125	1.6535	1.6911	1.7264	1.7596	1.7912	1.8214
1100	*v*		0.4536	0.5022	0.5446	0.5833	0.6196	0.6875	0.7516	0.8133	0.8733	0.9322	0.9902	1.0476
(556.35)	*h*		1237.2	1280.5	1317.9	1351.9	1384.0	1444.7	1503.2	1560.6	1617.7	1674.8	1732.2	1790.1
	s		1.4259	1.4658	1.4987	1.5275	1.5535	1.5999	1.6414	1.6794	1.7149	1.7483	1.7801	1.8104
1200	*v*		0.4020	0.4501	0.4910	0.5279	0.5622	0.6259	0.6856	0.7428	0.7984	0.8528	0.9063	0.9592
(567.26)	*h*		1224.1	1271.1	1310.5	1345.9	1378.9	1440.9	1500.1	1558.1	1615.6	1673.0	1730.7	1788.8
	s		1.4061	1.4494	1.4842	1.5141	1.5406	1.5882	1.6302	1.6686	1.7043	1.7379	1.7698	1.8002
1300	*v*		0.3574	0.4057	0.4455	0.4809	0.5136	0.5738	0.6298	0.6832	0.7350	0.7856	0.8353	0.8843
(577.50)	*h*		1209.8	1261.3	1302.9	1339.7	1373.7	1437.0	1497.0	1555.6	1613.5	1671.3	1729.2	1787.4
	s		1.3859	1.4334	1.4701	1.5012	1.5288	1.5772	1.6198	1.6585	1.6945	1.7283	1.7604	1.7909
1400	*v*		0.3178	0.3671	0.4063	0.4405	0.4718	0.5290	0.5819	0.6321	0.6806	0.7280	0.7744	0.8202
(587.14)	*h*		1193.7	1250.8	1295.0	1333.4	1368.5	1433.1	1493.9	1553.1	1611.4	1669.5	1727.7	1786.1
	s		1.3649	1.4175	1.4566	1.4890	1.5174	1.5668	1.6100	1.6491	1.6854	1.7194	1.7515	1.7821
1500	*v*		0.2819	0.3331	0.3720	0.4054	0.4356	0.4902	0.5403	0.5878	0.6325	0.6780	0.7217	0.7646
(595.27)	*h*		1175.4	1239.6	1286.8	1326.9	1363.1	1429.1	1490.8	1550.5	1609.3	1667.7	1726.1	1784.6
	s		1.3423	1.4016	1.4433	1.4771	1.5064	1.5569	1.6007	1.6403	1.6768	1.7110	1.7433	1.7740
1600	*v*			0.3029	0.3418	0.3745	0.4037	0.4562	0.5040	0.5490	0.5923	0.6343	0.6755	0.7160
(604.93)	*h*			1227.7	1278.3	1320.2	1357.6	1425.1	1487.7	1548.0	1607.2	1665.9	1724.6	1783.5
	s			1.3855	1.4302	1.4656	1.4959	1.5475	1.5920	1.6319	1.6687	1.7031	1.7355	1.7663
1700	*v*			0.2757	0.3149	0.3471	0.3756	0.4262	0.4719	0.5148	0.5559	0.5958	0.6348	0.6731
(613.19)	*h*			1214.7	1269.3	1313.3	1351.9	1421.0	1484.5	1545.4	1605.0	1664.1	1723.0	1782.1
	s			1.3691	1.4172	1.4544	1.4857	1.5385	1.5836	1.6240	1.6610	1.6956	1.7282	1.7591
1800	*v*			0.2507	0.2908	0.3227	0.3505	0.3994	0.4433	0.4844	0.5236	0.5615	0.5986	0.6349
(621.07)	*h*			1200.6	1259.9	1306.2	1346.2	1416.9	1481.3	1542.8	1602.9	1662.3	1721.5	1780.8
	s			1.3520	1.4043	1.4434	1.4758	1.5299	1.5756	1.6164	1.6537	1.6885	1.7212	1.7522
1900	*v*			0.2277	0.2689	0.3007	0.3280	0.3755	0.4178	0.4572	0.4947	0.5309	0.5662	0.6008
(628.62)	*h*			1185.1	1250.1	1298.8	1340.3	1412.7	1478.1	1540.2	1600.8	1660.5	1720.0	1779.5
	s			1.3340	1.3914	1.4325	1.4662	1.5215	1.5680	1.6091	1.6468	1.6817	1.7146	1.7457
2000	*v*			0.2059	0.2489	0.2807	0.3076	0.3539	0.3948	0.4327	0.4686	0.5033	0.5370	0.5701
(635.85)	*h*			1167.5	1239.7	1291.2	1334.3	1408.5	1474.9	1537.6	1598.6	1658.7	1718.4	1778.1
	s			1.3146	1.3783	1.4218	1.4567	1.5134	1.5606	1.6022	1.6401	1.6752	1.7083	1.7395

Table 3 (continued). Superheated Steam

Pressure psia (Sat. T)		Temperature—Degrees Fahrenheit 650	700	750	800	850	900	950	1000	1100	1200	1300	1400	1500
2200	*v*	0.1635	0.2136	0.2459	0.2723	0.2955	0.3166	0.3363	0.3550	0.3903	0.4236	0.4556	0.4867	0.5171
(649.50)	*h*	1122.0	1217.1	1275.2	1321.8	1362.6	1399.8	1434.8	1468.3	1532.4	1594.3	1655.1	1715.3	1775.5
	s	1.2573	1.3514	1.4006	1.4383	1.4700	1.4980	1.5232	1.5466	1.5891	1.6276	1.6631	1.6964	1.7279
2400	*v*		0.1827	0.2164	0.2426	0.2651	0.2854	0.3042	0.3219	0.3550	0.3861	0.4159	0.4447	0.4729
(662.16)	*h*		1191.0	1258.0	1308.8	1352.0	1390.9	1427.2	1461.6	1527.1	1589.9	1651.4	1712.2	1772.8
	s		1.3226	1.3793	1.4204	1.4541	1.4833	1.5094	1.5335	1.5769	1.6159	1.6519	1.6855	1.7172
2600	*v*		0.1548	0.1909	0.2173	0.2393	0.2589	0.2769	0.2938	0.3251	0.3544	0.3823	0.4092	0.4355
(673.98)	*h*		1160.0	1239.4	1295.0	1341.0	1381.8	1419.4	1454.8	1521.7	1585.6	1647.8	1709.1	1770.1
	s		1.2905	1.3577	1.4027	1.4386	1.4692	1.4963	1.5210	1.5654	1.6050	1.6414	1.6753	1.7073
2800	*v*		0.1280	0.1685	0.1953	0.2171	0.2362	0.2535	0.2697	0.2995	0.3272	0.3535	0.3788	0.4034
(685.03)	*h*		1120.6	1219.0	1280.5	1329.7	1372.5	1411.5	1447.9	1516.3	1581.2	1644.1	1706.0	1767.4
	s		1.2520	1.3353	1.3852	1.4235	1.4555	1.4837	1.5092	1.5545	1.5948	1.6316	1.6658	1.6980
3000	*v*		0.0984	0.1484	0.1760	0.1977	0.2164	0.2332	0.2487	0.2773	0.3037	0.3286	0.3525	0.3757
(695.41)	*h*		1059.8	1196.4	1265.2	1317.9	1362.9	1403.4	1441.0	1510.9	1576.7	1640.4	1702.8	1764.7
	s		1.1959	1.3118	1.3675	1.4086	1.4423	1.4716	1.4978	1.5442	1.5851	1.6223	1.6569	1.6893
3200	*v*			0.1300	0.1589	0.1806	0.1990	0.2154	0.2304	0.2579	0.2839	0.3067	0.3294	0.3514
(705.10)	*h*			1171.0	1248.9	1305.7	1353.0	1395.1	1433.9	1505.4	1572.3	1636.7	1699.7	1762.0
	s			1.2866	1.3497	1.3939	1.4294	1.4598	1.4869	1.5343	1.5759	1.6136	1.6484	1.6810
3400	*v*			0.1129	0.1435	0.1654	0.1836	0.1996	0.2143	0.2407	0.2648	0.2875	0.3091	0.3299
	h			1141.8	1231.6	1292.9	1342.9	1386.7	1426.6	1499.8	1567.8	1633.0	1696.6	1759.3
	s			1.2587	1.3316	1.3793	1.4168	1.4484	1.4763	1.5248	1.5671	1.6052	1.6403	1.6732
3600	*v*			0.0964	0.1296	0.1518	0.1699	0.1856	0.1999	0.2255	0.2487	0.2704	0.2910	0.3109
	h			1107.2	1213.2	1279.7	1332.5	1378.1	1419.3	1494.2	1563.3	1629.2	1693.4	1756.6
	s			1.2269	1.3129	1.3648	1.4043	1.4373	1.4660	1.5157	1.5586	1.5972	1.6327	1.6658
3800	*v*			0.0802	0.1169	0.1396	0.1576	0.1731	0.1870	0.2118	0.2342	0.2551	0.2748	0.2939
	h			1064.4	1193.4	1266.0	1321.9	1369.4	1411.9	1488.5	1558.8	1625.5	1690.3	1753.9
	s			1.1888	1.2936	1.3502	1.3921	1.4264	1.4561	1.5069	1.5506	1.5896	1.6254	1.6587
4000	*v*			0.0637	0.1052	0.1285	0.1465	0.1617	0.1754	0.1996	0.2212	0.2413	0.2603	0.2785
	h			1009.2	1172.1	1251.7	1310.9	1360.5	1404.4	1482.8	1554.2	1621.7	1687.1	1751.2
	s			1.1400	1.2734	1.3355	1.3799	1.4157	1.4463	1.4983	1.5427	1.5822	1.6183	1.6519
4500	*v*			0.0393	0.0796	0.1047	0.1229	0.1378	0.1509	0.1737	0.1933	0.2122	0.2296	0.2462
	h			891.0	1111.1	1213.4	1282.3	1337.5	1385.3	1468.4	1542.7	1612.3	1679.2	1744.5
	s			1.0395	1.2183	1.2980	1.3497	1.3896	1.4229	1.4780	1.5242	1.5650	1.6019	1.6361
5000	*v*			0.0337	0.0594	0.0855	0.1039	0.1186	0.1313	0.1530	0.1719	0.1890	0.2051	0.2204
	h			853.0	1041.9	1171.5	1252.1	1313.7	1365.5	1453.8	1531.2	1602.9	1671.3	1737.7
	s			1.0053	1.1582	1.2593	1.3198	1.3643	1.4005	1.4590	1.5071	1.5491	1.5869	1.6217
5500	*v*			0.0313	0.0463	0.0701	0.0885	0.1030	0.1153	0.1361	0.1540	0.1701	0.1851	0.1993
	h			834.1	980.9	1126.9	1220.4	1289.1	1345.4	1439.0	1519.6	1593.4	1663.4	1731.0
	s			0.9872	1.1060	1.2193	1.2899	1.3396	1.3788	1.4409	1.4910	1.5343	1.5729	1.6084
6000	*v*			0.0298	0.0395	0.0582	0.0759	0.0901	0.1021	0.1221	0.1391	0.1544	0.1684	0.1817
	h			821.7	940.8	1083.1	1187.7	1263.8	1324.8	1424.0	1507.0	1583.9	1655.5	1724.3
	s			0.9747	1.0710	1.1818	1.2604	1.3154	1.3579	1.4237	1.4759	1.5204	1.5599	1.5960
7000	*v*			0.0279	0.0334	0.0438	0.0576	0.0705	0.0817	0.1004	0.1160	0.1298	0.1424	0.1542
	h			805.6	898.4	1013.3	1124.8	1213.1	1283.4	1394.0	1484.6	1565.1	1639.8	1711.0
	s			0.9570	1.0321	1.1215	1.2051	1.2689	1.3179	1.3913	1.4476	1.4948	1.5361	1.5734

Table 3 (continued). Superheated Steam

Pressure p,sia (Sat T)		Temperature—Degrees Fahrenheit 750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1300	1400	1500
8000	*v*	0.0267	0.0306	0.0371	0.0455	0.0571	0.0672	0.0763	0.0844	0.0919	0.0988	0.1115	0.1230	0.1337
	h	795.1	876.0	971.0	1073.2	1165.6	1243.0	1307.9	1364.3	1414.9	1461.5	1546.4	1624.3	1697.9
	s	0.9441	1.0096	1.0836	1.1601	1.2259	1.2808	1.3246	1.3614	1.3933	1.4218	1.4715	1.5146	1.5532
9000	*v*	0.0258	0.0289	0.0335	0.0401	0.0483	0.0568	0.0650	0.0725	0.0794	0.0858	0.0975	0.1081	0.1179
	h	787.5	861.6	945.1	1026.2	1125.7	1205.8	1275.1	1335.6	1389.6	1438.9	1528.1	1609.1	1685.1
	s	0.9338	0.9938	1.0588	1.1270	1.1917	1.2475	1.2942	1.3337	1.3678	1.3980	1.4502	1.4949	1.5348
10000	*v*	0.0251	0.0276	0.0312	0.0362	0.0425	0.0495	0.0566	0.0633	0.0697	0.0756	0.0864	0.0962	0.1053
	h	781.8	851.3	927.6	1010.1	1094.2	1173.6	1245.0	1308.5	1365.4	1417.2	1510.4	1594.3	1672.6
	s	0.9252	0.9815	1.0409	1.1027	1.1634	1.2188	1.2668	1.3083	1.3442	1.3759	1.4304	1.4768	1.5179
11000	*v*	0.0245	0.0267	0.0296	0.0336	0.0385	0.0442	0.0503	0.0563	0.0621	0.0675	0.0776	0.0867	0.0952
	h	777.3	843.6	915.0	991.3	1070.0	1146.8	1218.5	1283.5	1342.6	1396.5	1493.3	1579.9	1660.4
	s	0.9177	0.9714	1.0269	1.0841	1.1409	1.1945	1.2428	1.2852	1.3225	1.3555	1.4121	1.4600	1.5022
12000	*v*	0.0240	0.0260	0.0285	0.0317	0.0357	0.0404	0.0456	0.0509	0.0561	0.0611	0.0704	0.0789	0.0868
	h	773.8	837.5	905.3	977.1	1051.3	1125.1	1195.6	1261.2	1321.6	1377.1	1477.0	1566.1	1648.6
	s	0.9111	0.9627	1.0155	1.0692	1.1228	1.1743	1.2218	1.2645	1.3027	1.3366	1.3951	1.4444	1.4876
13000	*v*	0.0236	0.0253	0.0275	0.0303	0.0336	0.0376	0.0420	0.0467	0.0513	0.0559	0.0645	0.0724	0.0798
	h	771.0	832.7	897.8	966.1	1036.6	1107.5	1176.3	1241.6	1302.6	1359.2	1461.5	1552.9	1637.2
	s	0.9061	0.9551	1.0057	1.0569	1.1079	1.1573	1.2036	1.2462	1.2847	1.3193	1.3792	1.4297	1.4739
14000	*v*	0.0232	0.0248	0.0267	0.0291	0.0320	0.0354	0.0392	0.0433	0.0475	0.0515	0.0596	0.0670	0.0739
	h	768.7	828.8	891.7	957.3	1024.9	1093.1	1160.1	1224.6	1285.7	1342.8	1446.9	1540.3	1626.3
	s	0.8996	0.9483	0.9973	1.0454	1.0952	1.1428	1.1879	1.2299	1.2685	1.3035	1.3644	1.4161	1.4611
15000	*v*	0.0229	0.0243	0.0261	0.0282	0.0308	0.0337	0.0370	0.0406	0.0443	0.0481	0.0554	0.0624	0.0689
	h	766.9	825.6	886.7	950.1	1015.3	1081.2	1145.5	1209.3	1270.6	1327.9	1433.3	1528.4	1615.8
	s	0.8946	0.9422	0.9897	1.0372	1.0843	1.1303	1.1742	1.2155	1.2539	1.2890	1.3506	1.4032	1.4490

Table 4. Properties of Saturated Water and Steam (Temperature)

Temp.	Pressure	Volume, m^3/kg		Enthalpy, kJ/kg		Entropy, kJ/(kg·K)		Temp.
t (°C)	MPa	v_L	v_V	h_L	h_V	s_L	s_V	t (°C)
0.01	0.0006117	0.0010002	206.00	0.001	2500.9	0.0000	9.1555	**0.01**
5	0.0008726	0.0010001	147.02	21.019	2510.1	0.0763	9.0249	**5**
10	0.001228	0.0010003	106.31	42.021	2519.2	0.1511	8.8998	**10**
15	0.001706	0.0010009	77.881	62.984	2528.4	0.2245	8.7804	**15**
20	0.002339	0.0010018	57.761	83.920	2537.5	0.2965	8.6661	**20**
25	0.003170	0.0010030	43.341	104.84	2546.5	0.3673	8.5568	**25**
30	0.004247	0.0010044	32.882	125.75	2555.6	0.4368	8.4521	**30**
35	0.005629	0.0010060	25.208	146.64	2564.6	0.5052	8.3518	**35**
40	0.007384	0.0010079	19.517	167.54	2573.5	0.5724	8.2557	**40**
45	0.009594	0.0010099	15.253	188.44	2582.5	0.6386	8.1634	**45**
50	0.012351	0.0010121	12.026	209.34	2591.3	0.7038	8.0749	**50**
55	0.015761	0.0010145	9.5649	230.24	2600.1	0.7680	7.9899	**55**
60	0.019946	0.0010171	7.6677	251.15	2608.8	0.8312	7.9082	**60**
65	0.025041	0.0010199	6.1938	272.08	2617.5	0.8935	7.8296	**65**
70	0.031201	0.0010228	5.0397	293.02	2626.1	0.9550	7.7540	**70**
75	0.038595	0.0010258	4.1291	313.97	2634.6	1.0156	7.6812	**75**
80	0.047415	0.0010290	3.4053	334.95	2643.0	1.0754	7.6110	**80**
85	0.057867	0.0010324	2.8259	355.95	2651.3	1.1344	7.5434	**85**
90	0.070182	0.0010359	2.3591	376.97	2659.5	1.1927	7.4781	**90**
95	0.084609	0.0010396	1.9806	398.02	2667.6	1.2502	7.4150	**95**
100	0.10142	0.0010435	1.6719	419.10	2675.6	1.3070	7.3541	**100**
105	0.12090	0.0010474	1.4185	440.21	2683.4	1.3632	7.2951	**105**
110	0.14338	0.0010516	1.2094	461.36	2691.1	1.4187	7.2380	**110**
115	0.16918	0.0010559	1.0359	482.55	2698.6	1.4735	7.1827	**115**
120	0.19867	0.0010603	0.89130	503.78	2705.9	1.5278	7.1291	**120**
125	0.23222	0.0010649	0.77011	525.06	2713.1	1.5815	7.0770	**125**
130	0.27026	0.0010697	0.66808	546.39	2720.1	1.6346	7.0264	**130**
135	0.31320	0.0010747	0.58180	567.77	2726.9	1.6872	6.9772	**135**
140	0.36150	0.0010798	0.50852	589.20	2733.4	1.7393	6.9293	**140**
145	0.41563	0.0010850	0.44602	610.69	2739.8	1.7909	6.8826	**145**
150	0.47610	0.0010905	0.39250	632.25	2745.9	1.8420	6.8370	**150**
155	0.54342	0.0010962	0.34650	653.88	2751.8	1.8926	6.7926	**155**
160	0.61814	0.0011020	0.30682	675.57	2757.4	1.9428	6.7491	**160**
165	0.70082	0.0011080	0.27246	697.35	2762.8	1.9926	6.7066	**165**
170	0.79205	0.0011143	0.24262	719.21	2767.9	2.0419	6.6649	**170**
175	0.89245	0.0011207	0.21660	741.15	2772.7	2.0909	6.6241	**175**
180	1.0026	0.0011274	0.19386	763.19	2777.2	2.1395	6.5841	**180**
185	1.1233	0.0011343	0.17392	785.32	2781.4	2.1878	6.5447	**185**
190	1.2550	0.0011414	0.15638	807.57	2785.3	2.2358	6.5060	**190**
195	1.3986	0.0011488	0.14091	829.92	2788.9	2.2834	6.4679	**195**
200	1.5547	0.0011565	0.12722	852.39	2792.1	2.3308	6.4303	**200**
205	1.7240	0.0011645	0.11509	874.99	2794.9	2.3779	6.3932	**205**
210	1.9074	0.0011727	0.10430	897.73	2797.4	2.4248	6.3565	**210**
215	2.1055	0.0011813	0.094689	920.61	2799.4	2.4714	6.3202	**215**
220	2.3193	0.0011902	0.086101	943.64	2801.1	2.5178	6.2842	**220**

Table 4. Properties of Saturated Water and Steam (Temperature)

Temp. t (°C)	Pressure MPa	Volume, m³/kg v_L	v_V	Enthalpy, kJ/kg h_L	h_V	Entropy, kJ/(kg·K) s_L	s_V	Temp. t (°C)
225	2.5494	0.001199	0.076411	966.84	2802.3	2.5641	6.2485	**225**
230	2.7968	0.001209	0.071510	990.21	2803.0	2.6102	6.2131	**230**
235	3.0622	0.001219	0.065304	1013.8	2803.3	2.6561	6.1777	**235**
240	3.3467	0.001229	0.059710	1037.5	2803.1	2.7019	6.1425	**240**
245	3.6509	0.001240	0.054658	1061.5	2802.3	2.7477	6.1074	**245**
250	3.9759	0.001252	0.050087	1085.7	2801.0	2.7934	6.0722	**250**
255	4.3227	0.001264	0.045941	1110.1	2799.1	2.8391	6.0370	**255**
260	4.6921	0.001276	0.042175	1134.8	2796.6	2.8847	6.0017	**260**
265	5.0851	0.001289	0.038748	1159.8	2793.5	2.9304	5.9662	**265**
270	5.5028	0.001303	0.035622	1185.1	2789.7	2.9762	5.9304	**270**
275	5.9463	0.001318	0.032767	1210.7	2785.1	3.0221	5.8943	**275**
280	6.4165	0.001333	0.030154	1236.7	2779.8	3.0681	5.8578	**280**
285	6.9145	0.001349	0.027758	1263.0	2773.7	3.1143	5.8208	**285**
290	7.4416	0.001366	0.025557	1289.8	2766.6	3.1608	5.7832	**290**
295	7.9990	0.001385	0.023531	1317.0	2758.6	3.2076	5.7449	**295**
300	8.5877	0.001404	0.021663	1344.8	2749.6	3.2547	5.7058	**300**
305	9.2092	0.001425	0.019937	1373.1	2739.4	3.3024	5.6656	**305**
310	9.8647	0.001448	0.018339	1402.0	2727.9	3.3506	5.6243	**310**
315	10.556	0.001472	0.016856	1431.6	2715.1	3.3994	5.5816	**315**
320	11.284	0.001499	0.015476	1462.1	2700.7	3.4491	5.5373	**320**
325	12.051	0.001528	0.014189	1493.4	2684.5	3.4997	5.4911	**325**
330	12.856	0.001561	0.012984	1525.7	2666.2	3.5516	5.4425	**330**
335	13.707	0.001597	0.011852	1559.3	2645.6	3.6048	5.3910	**335**
340	14.600	0.001638	0.010784	1594.4	2622.1	3.6599	5.3359	**340**
345	15.540	0.001685	0.009770	1631.4	2595.0	3.7175	5.2763	**345**
350	16.529	0.001740	0.008801	1670.9	2563.6	3.7783	5.2109	**350**
355	17.570	0.001808	0.007866	1713.7	2526.4	3.8438	5.1377	**355**
360	18.666	0.001895	0.006945	1761.5	2481.0	3.9164	5.0527	**360**
365	19.822	0.002016	0.006004	1817.6	2422.0	4.0011	4.9462	**365**
370	21.043	0.002222	0.004946	1892.6	2333.5	4.1142	4.7996	**370**
T_c	22.064	0.003106	0.003106	2087.5	2087.5	4.4120	4.4120	T_c

T_c = 373.946 °C

Table 5. Properties of Saturated Water and Steam (Pressure)

Press.	Temp.	Volume, m^3/kg		Enthalpy, kJ/kg		Entropy, kJ/(kg·K)		Press.
MPa	t (°C)	v_L	v_V	h_L	h_V	s_L	s_V	MPa
0.001	6.97	0.0010001	129.18	29.298	2513.7	0.1059	8.9749	**0.001**
0.002	17.50	0.0010014	66.990	73.435	2532.9	0.2606	8.7227	**0.002**
0.003	24.08	0.0010028	45.655	100.99	2544.9	0.3543	8.5766	**0.003**
0.004	28.96	0.0010041	34.792	121.40	2553.7	0.4224	8.4735	**0.004**
0.005	32.88	0.0010053	28.186	137.77	2560.8	0.4763	8.3939	**0.005**
0.006	36.16	0.0010064	23.734	151.49	2566.7	0.5209	8.3291	**0.006**
0.007	39.00	0.0010075	20.525	163.37	2571.8	0.5591	8.2746	**0.007**
0.008	41.51	0.0010085	18.099	173.85	2576.2	0.5925	8.2274	**0.008**
0.009	43.76	0.0010094	16.200	183.26	2580.3	0.6223	8.1859	**0.009**
0.010	45.81	0.0010103	14.671	191.81	2583.9	0.6492	8.1489	**0.010**
0.012	49.42	0.0010119	12.359	206.91	2590.3	0.6963	8.0850	**0.012**
0.014	52.55	0.0010133	10.691	219.99	2595.8	0.7366	8.0312	**0.014**
0.016	55.31	0.0010147	9.4309	231.55	2600.7	0.7720	7.9847	**0.016**
0.018	57.80	0.0010160	8.4433	241.95	2605.0	0.8035	7.9437	**0.018**
0.020	60.06	0.0010171	7.6482	251.40	2608.9	0.8320	7.9072	**0.020**
0.025	64.96	0.0010198	6.2034	271.93	2617.4	0.8931	7.8302	**0.025**
0.030	69.10	0.0010222	5.2286	289.23	2624.6	0.9439	7.7675	**0.030**
0.035	72.68	0.0010244	4.5252	304.25	2630.7	0.9876	7.7146	**0.035**
0.040	75.86	0.0010264	3.9931	317.57	2636.1	1.0259	7.6690	**0.040**
0.045	78.71	0.0010282	3.5761	329.55	2640.9	1.0601	7.6288	**0.045**
0.05	81.32	0.0010299	3.2401	340.48	2645.2	1.0910	7.5930	**0.05**
0.06	85.93	0.0010331	2.7318	359.84	2652.9	1.1452	7.5311	**0.06**
0.07	89.93	0.0010359	2.3649	376.68	2659.4	1.1919	7.4790	**0.07**
0.08	93.49	0.0010385	2.0872	391.64	2665.2	1.2328	7.4339	**0.08**
0.09	96.69	0.0010409	1.8695	405.13	2670.3	1.2694	7.3942	**0.09**
0.10	99.61	0.0010431	1.6940	417.44	2674.9	1.3026	7.3588	**0.10**
0.12	104.78	0.0010473	1.4284	439.30	2683.1	1.3608	7.2976	**0.12**
0.14	109.29	0.0010510	1.2366	458.37	2690.0	1.4109	7.2460	**0.14**
0.16	113.30	0.0010544	1.0914	475.34	2696.0	1.4549	7.2014	**0.16**
0.18	116.91	0.0010576	0.97753	490.67	2701.4	1.4944	7.1620	**0.18**
0.20	120.21	0.0010605	0.88574	504.68	2706.2	1.5301	7.1269	**0.20**
0.25	127.41	0.0010672	0.71870	535.35	2716.5	1.6072	7.0524	**0.25**
0.30	133.53	0.0010732	0.60579	561.46	2724.9	1.6718	6.9916	**0.30**
0.35	138.86	0.0010786	0.52420	584.31	2732.0	1.7275	6.9401	**0.35**
0.40	143.61	0.0010836	0.46239	604.72	2738.1	1.7766	6.8954	**0.40**
0.45	147.91	0.0010882	0.41390	623.22	2743.4	1.8206	6.8560	**0.45**
0.50	151.84	0.0010926	0.37480	640.19	2748.1	1.8606	6.8206	**0.50**
0.55	155.46	0.0010967	0.34259	655.88	2752.3	1.8972	6.7885	**0.55**
0.60	158.83	0.0011006	0.31558	670.50	2756.1	1.9311	6.7592	**0.60**
0.65	161.99	0.0011044	0.29258	684.22	2759.6	1.9626	6.7321	**0.65**
0.70	164.95	0.0011080	0.27276	697.14	2762.7	1.9921	6.7070	**0.70**
0.80	170.41	0.0011148	0.24033	721.02	2768.3	2.0460	6.6615	**0.80**
0.90	175.36	0.0011212	0.21487	742.72	2773.0	2.0944	6.6212	**0.90**
1.00	179.89	0.0011272	0.19435	762.68	2777.1	2.1384	6.5850	**1.00**
1.10	184.07	0.0011330	0.17744	781.20	2780.7	2.1789	6.5520	**1.10**

Table 5. Properties of Saturated Water and Steam (Pressure)

Press.	Temp.	Volume, m^3/kg		Enthalpy, kJ/kg		Entropy, kJ/(kg•K)		Press.
MPa	t (°C)	v_L	v_V	h_L	h_V	s_L	s_V	MPa
1.2	187.96	0.001139	0.16325	798.50	2783.8	2.2163	6.5217	1.2
1.3	191.61	0.001144	0.15117	814.76	2786.5	2.2512	6.4936	1.3
1.4	195.05	0.001149	0.14077	830.13	2788.9	2.2839	6.4675	1.4
1.5	198.30	0.001154	0.13170	844.72	2791.0	2.3147	6.4431	1.5
1.6	201.38	0.001159	0.12373	858.61	2792.9	2.3438	6.4200	1.6
1.8	207.12	0.001168	0.11036	884.61	2796.0	2.3978	6.3776	1.8
2.0	212.38	0.001177	0.099581	908.62	2798.4	2.4470	6.3392	2.0
2.2	217.26	0.001185	0.090685	930.98	2800.2	2.4924	6.3040	2.2
2.4	221.80	0.001193	0.083242	951.95	2801.5	2.5344	6.2714	2.4
2.6	226.05	0.001201	0.076897	971.74	2802.5	2.5738	6.2411	2.6
2.8	230.06	0.001209	0.071428	990.50	2803.0	2.6107	6.2126	2.8
3.0	233.86	0.001217	0.066664	1008.4	2803.3	2.6456	6.1858	3.0
3.2	237.46	0.001224	0.062475	1025.5	2803.2	2.6787	6.1604	3.2
3.4	240.90	0.001231	0.058761	1041.8	2803.0	2.7102	6.1362	3.4
3.6	244.19	0.001239	0.055446	1057.6	2802.5	2.7403	6.1131	3.6
3.8	247.33	0.001246	0.052468	1072.8	2801.8	2.7690	6.0910	3.8
4.0	250.36	0.001253	0.049777	1087.4	2800.9	2.7967	6.0697	4.0
4.2	253.27	0.001259	0.047333	1101.6	2799.9	2.8232	6.0492	4.2
4.4	256.07	0.001266	0.045103	1115.4	2798.7	2.8488	6.0294	4.4
4.6	258.78	0.001273	0.043060	1128.8	2797.3	2.8736	6.0103	4.6
4.8	261.40	0.001280	0.041181	1141.8	2795.8	2.8975	5.9917	4.8
5.0	263.94	0.001286	0.039446	1154.5	2794.2	2.9207	5.9737	5.0
5.5	269.97	0.001303	0.035642	1184.9	2789.7	2.9759	5.9307	5.5
6.0	275.59	0.001319	0.032449	1213.7	2784.6	3.0274	5.8901	6.0
6.5	280.86	0.001336	0.029728	1241.2	2778.8	3.0760	5.8515	6.5
7.0	285.83	0.001352	0.027380	1267.4	2772.6	3.1220	5.8146	7.0
7.5	290.54	0.001368	0.025331	1292.7	2765.8	3.1658	5.7792	7.5
8.0	295.01	0.001385	0.023528	1317.1	2758.6	3.2077	5.7448	8.0
8.5	299.27	0.001401	0.021926	1340.7	2751.0	3.2478	5.7115	8.5
9.0	303.35	0.001418	0.020493	1363.7	2742.9	3.2866	5.6790	9.0
9.5	307.25	0.001435	0.019203	1386.0	2734.4	3.3240	5.6472	9.5
10.0	311.00	0.001453	0.018034	1407.9	2725.5	3.3603	5.6159	10.0
11.0	318.08	0.001489	0.015994	1450.3	2706.4	3.4300	5.5545	11.0
12.0	324.68	0.001526	0.014269	1491.3	2685.6	3.4965	5.4941	12.0
13.0	330.86	0.001566	0.012785	1531.4	2662.9	3.5606	5.4339	13.0
14.0	336.67	0.001610	0.011489	1570.9	2638.1	3.6230	5.3730	14.0
15.0	342.16	0.001657	0.010340	1610.2	2610.9	3.6844	5.3108	15.0
16.0	347.36	0.001710	0.009308	1649.7	2580.6	3.7457	5.2463	16.0
17.0	352.29	0.001769	0.008369	1690.0	2547.4	3.8077	5.1785	17.0
18.0	356.99	0.001839	0.007499	1732.0	2509.5	3.8717	5.1055	18.0
19.0	361.47	0.001925	0.006673	1776.9	2465.4	3.9396	5.0246	19.0
20.0	365.75	0.002039	0.005858	1827.1	2411.4	4.0154	4.9299	20.0
21.0	369.83	0.002212	0.004988	1889.4	2337.5	4.1093	4.8062	21.0
22.0	373.71	0.002750	0.003577	2021.9	2164.2	4.3109	4.5308	22.0
p_c	373.946	0.003106	0.003106	2087.5	2087.5	4.4120	4.4120	p_c

Table 6. Superheated Steam – SI Units

Pressure MPa (Sat. T)		Temperature—Degrees Celsius 50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	700
0.005	*v*	29.782	34.419	39.043	43.663	48.281	52.898	57.515	62.131	66.747	71.363	75.979	80.594	89.826
(32.89)	*h*	2593.4	2688.0	2783.4	2879.8	2977.6	3076.9	3177.6	3280.0	3384.0	3489.7	3597.1	3706.3	3929.9
	s	8.4976	8.7700	9.0097	9.2251	9.4216	9.6027	9.7713	9.9293	10.078	10.220	10.354	10.483	10.725
0.01	*v*	14.867	17.197	19.514	21.826	24.136	26.445	28.755	31.064	33.372	35.680	37.988	40.296	44.912
(45.81)	*h*	2592.0	2687.4	2783.0	2879.6	2977.4	3076.7	3177.5	3279.9	3384.0	3489.7	3597.1	3706.3	3929.9
	s	8.1741	8.4488	8.6892	8.9048	9.1014	9.2827	9.4513	9.6093	9.7584	9.8997	10.034	10.163	10.405
0.02	*v*		8.5857	9.7488	10.907	12.064	13.220	14.375	15.530	16.684	17.839	18.993	20.147	22.455
(60.06)	*h*		2686.2	2782.3	2879.1	2977.1	3076.5	3177.4	3279.8	3383.6	3489.6	3597.0	3706.2	3929.8
	s		8.1262	8.3680	8.5842	8.7811	8.9624	9.1311	9.2892	9.4383	9.5797	9.7143	9.8431	10.086
0.05	*v*		3.4188	3.8899	4.3563	4.8207	5.2841	5.7470	6.2095	6.6718	7.1339	7.5959	8.0578	8.9814
(81.32)	*h*		2682.4	2780.2	2877.8	2976.2	3075.8	3176.8	3279.3	3383.5	3489.2	3596.7	3706.0	3929.7
	s		7.6952	7.9412	8.1591	8.3568	8.5386	8.7076	8.8658	9.0150	9.1565	9.2912	9.4200	9.6625
0.10	*v*		1.6960	1.9357	2.1725	2.4062	2.6389	2.8710	3.1027	3.3342	3.5656	3.7968	4.0279	4.4900
(99.61)	*h*		2675.8	2776.6	2875.5	2974.5	3074.5	3175.8	3278.5	3382.8	3488.7	3596.3	3705.6	3929.4
	s		7.3610	7.6147	7.8356	8.0346	8.2171	8.3865	8.5451	8.6945	8.8361	8.9709	9.0998	9.3424
0.15	*v*			1.2856	1.4445	1.6013	1.7571	1.9123	2.0671	2.2217	2.3762	2.5305	2.6847	2.9929
(111.35)	*h*			2772.9	2873.1	2972.9	3073.3	3174.9	3277.8	3382.2	3488.2	3595.8	3705.2	3929.1
	s			7.4207	7.6447	7.8451	8.0284	8.1983	8.3571	8.5067	8.6484	8.7833	8.9123	9.1550
0.20	*v*			0.9589	1.0805	1.1989	1.3162	1.4330	1.5493	1.6655	1.7814	1.8973	2.0130	2.2444
(120.21)	*h*			2769.1	2870.8	2971.3	3072.1	3173.9	3277.0	3381.5	3487.6	3595.4	3704.8	3928.8
	s			7.2809	7.5081	7.7100	7.8940	8.0643	8.2235	8.3733	8.5151	8.6501	8.7792	9.0220
0.25	*v*			0.7644	0.8621	0.9574	1.0517	1.1454	1.2387	1.3317	1.4245	1.5174	1.6101	1.7952
(127.41)	*h*			2765.2	2868.4	2969.6	3070.8	3172.9	3276.2	3380.9	3487.1	3594.9	3704.4	3928.5
	s			7.1707	7.4013	7.6046	7.7895	7.9602	8.1196	8.2696	8.4116	8.5467	8.6759	8.9188
0.30	*v*			0.6340	0.7164	0.7965	0.8753	0.9536	1.0315	1.1092	1.1867	1.2641	1.3414	1.4958
(133.53)	*h*			2761.2	2866.0	2967.9	3069.6	3172.0	3275.4	3380.2	3486.6	3594.5	3704.0	3928.2
	s			7.0791	7.3132	7.5181	7.7037	7.8749	8.0345	8.1848	8.3269	8.4622	8.5914	8.8344
0.35	*v*			0.5408	0.6124	0.6815	0.7494	0.8167	0.8836	0.9503	1.0168	1.0832	1.1495	1.2819
(138.86)	*h*			2757.1	2863.5	2966.3	3068.4	3171.0	3274.6	3379.6	3486.0	3594.0	3703.6	3927.9
	s			7.0002	7.2381	7.4445	7.6310	7.8026	7.9626	8.1130	8.2553	8.3906	8.5199	8.7630
0.40	*v*			0.4706	0.5343	0.5952	0.6549	0.7139	0.7726	0.8311	0.8894	0.9475	1.0056	1.1215
(143.61)	*h*			2752.8	2861.0	2964.6	3067.1	3170.0	3273.9	3379.0	3485.5	3593.6	3703.2	3927.6
	s			6.9305	7.1724	7.3805	7.5677	7.7398	7.9001	8.0507	8.1931	8.3286	8.4579	8.7012
0.45	*v*			0.4164	0.4736	0.5281	0.5814	0.6341	0.6863	0.7384	0.7902	0.8420	0.8936	0.9968
(147.91)	*h*			2748.3	2858.5	2962.8	3065.9	3169.0	3273.1	3378.3	3484.9	3593.1	3702.8	3927.3
	s			6.8677	7.1139	7.3237	7.5117	7.6843	7.8449	7.9957	8.1383	8.2738	8.4032	8.6466
0.50	*v*				0.4250	0.4744	0.5226	0.5701	0.6173	0.6642	0.7109	0.7576	0.8041	0.8970
(151.84)	*h*				2855.9	2961.1	3064.6	3168.1	3272.3	3377.7	3484.4	3592.6	3702.5	3927.0
	s				7.0611	7.2726	7.4614	7.6345	7.7954	7.9464	8.0891	8.2247	8.3543	8.5977
0.55	*v*				0.3853	0.4305	0.4745	0.5178	0.5608	0.6035	0.6461	0.6885	0.7308	0.8153
(155.46)	*h*				2853.3	2959.4	3063.3	3167.1	3271.5	3377.0	3483.9	3592.2	3702.1	3926.8
	s				7.0128	7.2261	7.4158	7.5894	7.7505	7.9017	8.0446	8.1803	8.3099	8.5535
0.60	*v*				0.3521	0.3939	0.4344	0.4743	0.5137	0.5530	0.5920	0.6309	0.6698	0.7473
(158.83)	*h*				2850.7	2957.7	3062.1	3166.1	3270.7	3376.4	3483.3	3591.7	3701.7	3926.5
	s				6.9694	7.1834	7.3740	7.5480	7.7095	7.8609	8.0039	8.1398	8.2694	8.5131

Table 6. Superheated Steam – SI Units

Pressure MPa (Sat. T)		Temperature—Degrees Celsius 200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800
0.65	*v*	0.3241	0.3629	0.4005	0.4374	0.4739	0.5102	0.5463	0.5822	0.6181	0.6539	0.6897	0.7254	0.7611
(161.99)	*h*	2848.0	2955.9	3060.8	3165.1	3269.9	3375.7	3482.8	3591.3	3701.3	3812.9	3926.2	4041.1	4157.7
	s	6.9270	7.1439	7.3354	7.5099	7.6717	7.8233	7.9665	8.1024	8.2321	8.3564	8.4759	8.5911	8.7024
0.70	*v*	0.3000	0.3364	0.3714	0.4058	0.4398	0.4735	0.5070	0.5405	0.5738	0.6071	0.6403	0.6735	0.7067
(164.95)	*h*	2845.3	2954.1	3059.5	3164.1	3269.1	3375.1	3482.3	3590.8	3700.9	3812.6	3925.9	4040.8	4157.5
	s	6.8884	7.1071	7.2995	7.4745	7.6366	7.7884	7.9317	8.0678	8.1975	8.3220	8.4415	8.5567	8.6680
0.75	*v*	0.2791	0.3133	0.3462	0.3784	0.4102	0.4417	0.4731	0.5043	0.5354	0.5665	0.5975	0.6285	0.6595
(167.76)	*h*	2842.5	2952.3	3058.2	3163.1	3268.4	3374.4	3481.7	3590.4	3700.5	3812.2	3925.6	4040.6	4157.3
	s	6.8529	7.0727	7.2660	7.4415	7.6039	7.7559	7.8994	8.0355	8.1654	8.2898	8.4094	8.5246	8.6360
0.80	*v*	0.2609	0.2932	0.3242	0.3544	0.3843	0.4139	0.4433	0.4726	0.5019	0.5310	0.5601	0.5892	0.6182
(170.41)	*h*	2839.8	2950.5	3056.9	3162.2	3267.6	3373.8	3481.2	3589.9	3700.1	3811.9	3925.3	4040.3	4157.1
	s	6.8176	7.0403	7.2345	7.4106	7.5733	7.7255	7.8690	8.0053	8.1353	8.2598	8.3794	8.4947	8.6060
0.90	*v*	0.2304	0.2596	0.2874	0.3145	0.3411	0.3675	0.3938	0.4199	0.4459	0.4718	0.4977	0.5236	0.5494
(175.36)	*h*	2834.1	2946.9	3054.3	3160.2	3266.0	3372.5	3480.1	3589.0	3699.3	3811.2	3924.7	4039.8	4156.6
	s	6.7538	6.9806	7.1768	7.3538	7.5172	7.6698	7.8136	7.9501	8.0803	8.2049	8.3246	8.4399	8.5513
1.0	*v*	0.2060	0.2327	0.2580	0.2825	0.3066	0.3304	0.3541	0.3777	0.4011	0.4245	0.4478	0.4711	0.4944
(179.89)	*h*	2828.3	2943.2	3051.7	3158.2	3264.4	3371.2	3479.0	3588.1	3698.6	3810.5	3924.1	4039.3	4156.2
	s	6.6955	6.9266	7.1247	7.3028	7.4666	7.6198	7.7640	7.9007	8.0309	8.1557	8.2755	8.3909	8.5024
1.1	*v*	0.1860	0.2107	0.2339	0.2563	0.2783	0.3001	0.3217	0.3431	0.3645	0.3858	0.4070	0.4282	0.4494
(184.07)	*h*	2822.3	2939.5	3049.1	3156.2	3262.8	3369.9	3477.9	3587.2	3697.8	3809.9	3923.5	4038.8	4155.7
	s	6.6414	6.8772	7.0773	7.2564	7.4210	7.5745	7.7189	7.8556	7.9863	8.1111	8.2310	8.3465	8.4580
1.2	*v*	0.1693	0.1924	0.2139	0.2345	0.2548	0.2748	0.2946	0.3143	0.3339	0.3535	0.3730	0.3924	0.4118
(187.96)	*h*	2816.1	2935.7	3046.4	3154.1	3261.2	3368.6	3476.8	3586.2	3697.0	3809.2	3922.9	4038.3	4155.2
	s	6.5908	6.8314	7.0336	7.2138	7.3791	7.5330	7.6777	7.8146	7.9454	8.0704	8.1904	8.3059	8.4175
1.3	*v*	0.1552	0.1769	0.1969	0.2161	0.2349	0.2534	0.2718	0.2900	0.3081	0.3262	0.3442	0.3621	0.3801
(191.61)	*h*	2809.6	2931.8	3043.7	3152.1	3259.6	3367.3	3475.7	3585.3	3696.2	3808.5	3922.4	4037.8	4154.8
	s	6.5430	6.7888	6.9931	7.1745	7.3404	7.4947	7.6397	7.7770	7.9078	8.0329	8.1530	8.2686	8.3803
1.4	*v*	0.1430	0.1635	0.1823	0.2003	0.2178	0.2351	0.2522	0.2691	0.2860	0.3026	0.3195	0.3362	0.3529
(195.05)	*h*	2803.0	2927.9	3041.0	3150.1	3258.0	3366.0	3474.7	3584.4	3695.4	3807.8	3921.8	4037.2	4154.3
	s	6.4975	6.7488	6.9553	7.1378	7.3044	7.4591	7.6045	7.7420	7.8729	7.9981	8.1183	8.2340	8.3457
1.5	*v*	0.1324	0.1520	0.1697	0.1866	0.2030	0.2192	0.2352	0.2510	0.2668	0.2825	0.2981	0.3137	0.3293
(198.30)	*h*	2796.0	2924.0	3038.3	3148.0	3256.4	3364.7	3473.6	3583.5	3694.6	3807.2	3921.2	4036.7	4153.9
	s	6.4537	6.7111	6.9199	7.1035	7.2706	7.4259	7.5716	7.7093	7.8404	7.9657	8.0860	8.2018	8.3135
1.6	*v*		0.1419	0.1587	0.1746	0.1901	0.2053	0.2203	0.2352	0.2500	0.2647	0.2794	0.2940	0.3087
(201.38)	*h*		2919.9	3035.5	3146.6	3254.7	3363.3	3472.5	3582.6	3693.9	3806.5	3920.6	4036.2	4153.4
	s		6.6754	6.8865	7.0713	7.2392	7.3948	7.5407	7.6787	7.8099	7.9354	8.0557	8.1716	8.2834
1.7	*v*		0.1330	0.1489	0.1640	0.1786	0.1930	0.2072	0.2212	0.2352	0.2491	0.2629	0.2767	0.2904
(204.31)	*h*		2915.9	3032.7	3143.9	3253.1	3362.0	3471.4	3581.6	3693.1	3805.8	3920.0	4035.7	4153.0
	s		6.6413	6.8548	7.0408	7.2094	7.3654	7.5117	7.6499	7.7813	7.9068	8.0273	8.1432	8.2551
1.8	*v*		0.1250	0.1402	0.1546	0.1685	0.1821	0.1955	0.2086	0.2220	0.2351	0.2482	0.2612	0.2743
(207.12)	*h*		2911.7	3029.9	3141.8	3251.5	3360.7	3470.3	3580.7	3692.3	3805.1	3919.4	4035.2	4152.5
	s		6.6087	6.8247	7.0119	7.1812	7.3377	7.4842	7.6226	7.7542	7.8799	8.0004	8.1164	8.2284
2.0	*v*		0.1115	0.1255	0.1386	0.1512	0.1635	0.1757	0.1877	0.1996	0.2115	0.2233	0.2350	0.2467
(212.38)	*h*		2903.2	3024.3	3137.6	3248.2	3358.1	3468.1	3578.9	3690.7	3803.8	3918.2	4034.2	4151.6
	s		6.5474	6.7685	6.9582	7.1290	7.2863	7.4335	7.5723	7.7042	7.8301	7.9509	8.0670	8.1791

Table 6. Superheated Steam – SI Units

Pressure MPa (Sat. T)		Temperature—Degrees Celsius 225	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800
2.2	*v*	0.0931	0.1004	0.1134	0.1255	0.1371	0.1484	0.1595	0.1704	0.1813	0.1921	0.2028	0.2136	0.2242
(217.26)	*h*	2824.5	2894.5	3018.5	3133.4	3244.9	3355.4	3465.9	3577.0	3689.1	3802.4	3917.1	4033.1	4150.7
	s	6.3531	6.4903	6.7168	6.9091	7.0813	7.2396	7.3873	7.5266	7.6588	7.7850	7.9059	8.0222	8.1344
2.4	*v*	0.0842	0.0911	0.1034	0.1146	0.1253	0.1357	0.1459	0.1560	0.1660	0.1760	0.1858	0.1957	0.2055
(221.80)	*h*	2812.1	2885.5	3012.6	3129.1	3241.6	3352.7	3463.7	3575.2	3687.6	3801.1	3915.9	4032.1	4149.8
	s	6.2926	6.4365	6.6688	6.8638	7.0375	7.1967	7.3450	7.4848	7.6173	7.7437	7.8648	7.9813	8.0936
2.6	*v*		0.0833	0.0948	0.1053	0.1153	0.1250	0.1345	0.1439	0.1531	0.1623	0.1714	0.1805	0.1896
(226.05)	*h*		2876.2	3006.6	3124.8	3238.3	3350.0	3461.5	3573.3	3686.0	3799.7	3914.7	4031.1	4148.9
	s		6.3854	6.6236	6.8216	6.9968	7.1570	7.3060	7.4461	7.5790	7.7056	7.8269	7.9435	8.0559
2.8	*v*		0.0765	0.0875	0.0974	0.1068	0.1158	0.1247	0.1334	0.1420	0.1506	0.1591	0.1676	0.1760
(230.06)	*h*		2866.5	3000.5	3120.5	3234.9	3347.4	3459.3	3571.5	3684.4	3798.4	3913.5	4030.0	4148.0
	s		6.3365	6.5814	6.7821	6.9589	7.1200	7.2696	7.4102	7.5434	7.6703	7.7918	7.9085	8.0210
3.0	*v*		0.0706	0.0812	0.0906	0.0994	0.1079	0.1162	0.1244	0.1324	0.1405	0.1484	0.1563	0.1642
(233.86)	*h*		2856.5	2994.3	3116.1	3231.6	3344.7	3457.0	3569.6	3682.6	3797.0	3912.3	4029.0	4147.0
	s		6.2893	6.5412	6.7449	6.9233	7.0853	7.2356	7.3767	7.5102	7.6373	7.7590	7.8759	7.9885
3.2	*v*		0.0655	0.0756	0.0845	0.0929	0.1009	0.1088	0.1165	0.1240	0.1315	0.1390	0.1465	0.1539
(237.46)	*h*		2846.2	2988.0	3111.6	3228.2	3341.9	3454.8	3567.7	3681.2	3795.6	3911.2	4028.0	4146.1
	s		6.2434	6.5029	6.7097	6.8897	7.0527	7.2036	7.3451	7.4790	7.6064	7.7283	7.8453	7.9581
3.4	*v*		0.0609	0.0707	0.0792	0.0872	0.0948	0.1022	0.1095	0.1166	0.1237	0.1308	0.1378	0.1448
(240.90)	*h*		2835.3	2981.6	3107.1	3224.8	3339.2	3452.6	3565.9	3679.6	3794.3	3910.0	4026.9	4145.2
	s		6.1986	6.4662	6.5762	6.8579	7.0219	7.1735	7.3154	7.4496	7.5773	7.6993	7.8165	7.9294
3.6	*v*		0.0568	0.0663	0.0745	0.0821	0.0893	0.0964	0.1033	0.1101	0.1168	0.1234	0.1301	0.1367
(244.19)	*h*		2824.0	2975.1	3102.6	3221.3	3336.5	3450.3	3564.0	3678.0	3792.9	3908.8	4025.9	4144.3
	s		6.1545	6.4309	6.5443	6.8276	6.9927	7.1449	7.2873	7.4219	7.5498	7.6720	7.7893	7.9023
3.8	*v*		0.0531	0.0624	0.0703	0.0775	0.0844	0.0911	0.0977	0.1042	0.1105	0.1169	0.1232	0.1294
(247.33)	*h*		2812.1	2968.4	3098.0	3217.9	3333.7	3448.1	3562.1	3676.4	3791.5	3907.6	4024.8	4143.4
	s		6.1107	6.3968	6.5137	6.7988	6.9649	7.1178	7.2607	7.3955	7.5237	7.6461	7.7636	7.8767
4.0	*v*			0.0589	0.0665	0.0734	0.0800	0.0864	0.0927	0.0989	0.1049	0.1110	0.1170	0.1229
(250.36)	*h*			2961.7	3093.3	3214.4	3331.0	3445.8	3560.2	3674.6	3790.2	3906.4	4023.8	4142.5
	s			6.3638	6.5843	6.7712	6.9383	7.0919	7.2353	7.3704	7.4989	7.6215	7.7391	7.8523
4.5	*v*			0.0514	0.0584	0.0648	0.0708	0.0765	0.0821	0.0877	0.0931	0.0985	0.1038	0.1092
(257.44)	*h*			2944.1	3081.5	3205.6	3324.0	3440.2	3555.5	3670.8	3786.7	3903.4	4021.2	4140.2
	s			6.2852	6.5153	6.7069	6.8767	7.0320	7.1765	7.3126	7.4415	7.5647	7.6827	7.7962
5.0	*v*			0.0452	0.0520	0.0578	0.0633	0.0686	0.0737	0.0787	0.0836	0.0885	0.0933	0.0982
(263.94)	*h*			2925.6	3069.3	3196.6	3317.0	3434.5	3550.8	3666.8	3783.3	3900.5	4018.6	4137.9
	s			6.2109	6.4515	6.6481	6.8208	6.9778	7.1235	7.2604	7.3901	7.5137	7.6321	7.7459
5.5	*v*			0.0404	0.0467	0.0522	0.0572	0.0621	0.0668	0.0714	0.0759	0.0803	0.0848	0.0891
(269.97)	*h*			2906.2	3056.8	3187.5	3309.9	3428.7	3546.0	3662.8	3779.8	3897.5	4016.0	4135.6
	s			6.1396	6.3919	6.5936	6.7693	6.9282	7.0751	7.2129	7.3432	7.4673	7.5661	7.7002
6.0	*v*			0.0362	0.0423	0.0474	0.0522	0.0567	0.0610	0.0653	0.0694	0.0735	0.0775	0.0815
(275.59)	*h*			2885.5	3043.9	3178.2	3302.8	3422.9	3541.2	3658.8	3776.4	3894.5	4013.4	4133.3
	s			6.0702	6.3356	6.5431	6.7216	6.8824	7.0306	7.1692	7.3002	7.4248	7.5439	7.6583
6.5	*v*			0.0326	0.0385	0.0434	0.0479	0.0521	0.0561	0.0601	0.0640	0.0678	0.0716	0.0753
(280.86)	*h*			2863.5	3030.6	3168.7	3295.5	3417.1	3536.4	3654.7	3772.9	3891.5	4010.7	4131.0
	s			6.0018	6.2819	6.4953	6.6771	6.8397	6.9892	7.1287	7.2603	7.3854	7.5050	7.6196

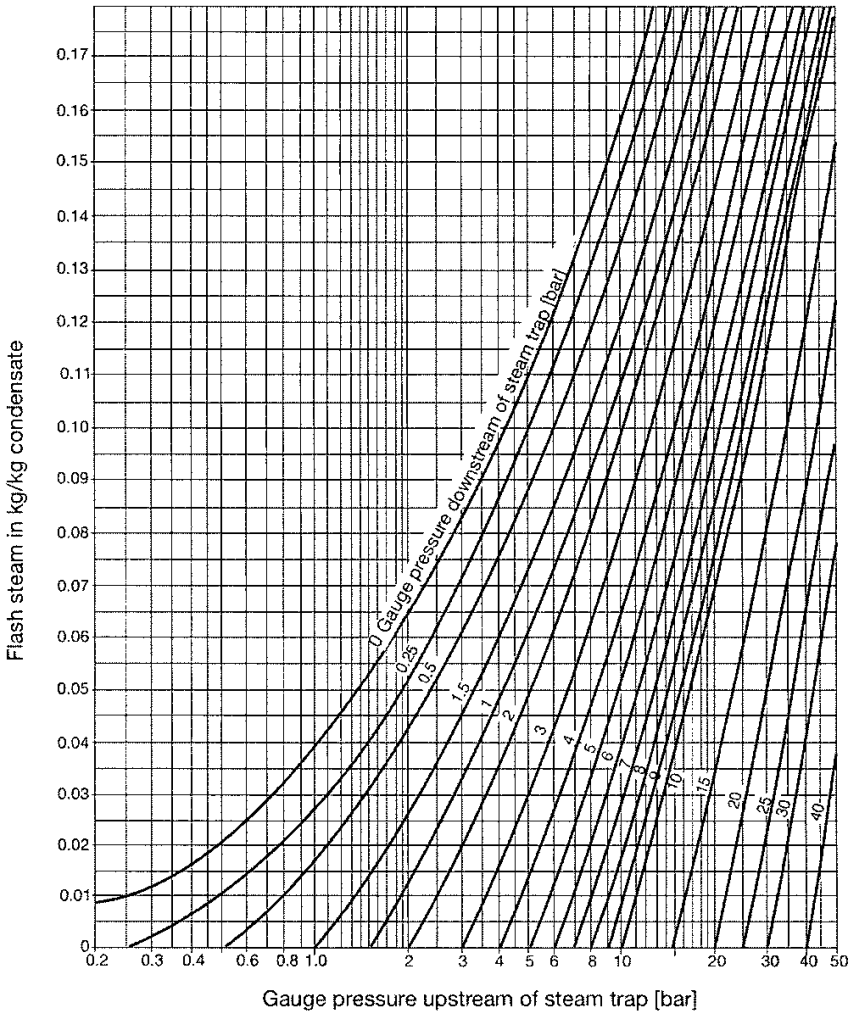
Table 6. Superheated Steam – SI Units

Pressure MPa (Sat. T)		Temperature—Degrees Celsius 300	325	350	375	400	450	500	550	600	650	700	750	800
7.0	*v*	0.0295	0.0326	0.0353	0.0377	0.0400	0.0442	0.0482	0.0520	0.0557	0.0593	0.0628	0.0664	0.0698
(285.83)	*h*	2839.8	2935.5	3016.8	3090.4	3159.1	3288.2	3411.3	3531.5	3650.6	3769.4	3888.5	4008.1	4128.6
	s	5.9335	6.0970	6.2303	6.3460	6.4501	6.6351	6.7997	6.9505	7.0909	7.2232	7.3488	7.4687	7.5837
7.5	*v*	0.0267	0.0298	0.0325	0.0348	0.0370	0.0410	0.0448	0.0483	0.0518	0.0552	0.0586	0.0619	0.0651
(290.54)	*h*	2814.3	2917.4	3002.7	3078.8	3149.3	3280.7	3405.3	3526.7	3646.5	3765.9	3885.4	4005.5	4126.3
	s	5.8644	6.0407	6.1806	6.3002	6.4070	6.5954	6.7620	6.9141	7.0555	7.1865	7.3145	7.4348	7.5501
8.0	*v*	0.0243	0.0274	0.0300	0.0323	0.0343	0.0382	0.0418	0.0452	0.0485	0.0517	0.0548	0.0579	0.0610
(295.01)	*h*	2786.4	2898.3	2988.1	3066.9	3139.3	3273.2	3399.4	3521.8	3642.4	3762.4	3882.4	4002.9	4124.0
	s	5.7935	5.9849	6.1319	6.2560	6.3657	6.5577	6.7264	6.8798	7.0221	7.1557	7.2823	7.4039	7.5186
8.5	*v*	0.0220	0.0252	0.0278	0.0300	0.0320	0.0357	0.0391	0.0424	0.0455	0.0485	0.0515	0.0545	0.0574
(299.27)	*h*	2755.4	2878.3	2972.9	3054.7	3129.1	3265.6	3393.4	3516.9	3638.3	3758.9	3879.4	4000.2	4121.7
	s	5.7193	5.9294	6.0845	6.2132	6.3259	6.5216	6.6925	6.8473	6.9905	7.1248	7.2519	7.3730	7.4889
9.0	*v*		0.0233	0.0258	0.0280	0.0300	0.0335	0.0368	0.0399	0.0429	0.0458	0.0486	0.0514	0.0541
(303.35)	*h*		2857.0	2957.2	3042.2	3118.8	3257.9	3387.3	3511.9	3634.2	3755.4	3876.4	3997.6	4119.4
	s		5.8736	6.0378	6.1716	6.2875	6.4671	6.6601	6.8163	6.9605	7.0955	7.2231	7.3446	7.4606
9.5	*v*		0.0215	0.0240	0.0262	0.0281	0.0316	0.0347	0.0377	0.0405	0.0433	0.0460	0.0486	0.0512
(307.25)	*h*		2834.4	2940.9	3029.4	3108.2	3250.2	3381.2	3506.9	3630.0	3751.9	3873.3	3994.9	4117.0
	s		5.8170	5.9917	6.1309	6.2502	6.4538	6.6291	6.7867	6.9319	7.0676	7.1957	7.3176	7.4341
10.0	*v*		0.0199	0.0224	0.0246	0.0264	0.0298	0.0328	0.0357	0.0384	0.0410	0.0436	0.0461	0.0486
(311.00)	*h*		2810.2	2924.0	3016.2	3097.4	3242.3	3375.1	3501.9	3625.8	3748.3	3870.3	3992.3	4114.7
	s		5.7593	5.9458	6.0910	6.2139	6.4217	6.5993	6.7584	6.9045	7.0409	7.1696	7.2916	7.4086
11.0	*v*		0.0170	0.0196	0.0217	0.0235	0.0267	0.0296	0.0322	0.0347	0.0371	0.0395	0.0418	0.0441
(316.08)	*h*		2755.6	2887.8	2988.7	3075.1	3226.2	3362.6	3491.9	3617.5	3741.2	3864.2	3987.0	4110.1
	s		5.6373	5.8541	6.0129	6.1438	6.3605	6.5430	6.7050	6.8531	6.9910	7.1207	7.2437	7.3612
12.0	*v*		0.0143	0.0172	0.0193	0.0211	0.0242	0.0268	0.0293	0.0317	0.0339	0.0361	0.0383	0.0404
(324.68)	*h*		2688.4	2848.0	2959.5	3051.9	3209.6	3350.0	3481.7	3609.0	3734.1	3858.0	3981.6	4105.4
	s		5.4988	5.7607	5.9362	6.0762	6.3027	6.4902	6.6553	6.8055	6.9446	7.0756	7.1994	7.3175
13.0	*v*			0.0151	0.0173	0.0190	0.0220	0.0245	0.0269	0.0291	0.0312	0.0332	0.0352	0.0372
(330.66)	*h*			2803.6	2928.3	3027.6	3192.9	3337.1	3471.4	3600.5	3726.9	3851.9	3976.3	4100.7
	s			5.6635	5.8690	6.0104	6.2475	6.4404	6.6087	6.7610	6.9016	7.0336	7.1583	7.2771
14.0	*v*			0.0132	0.0155	0.0172	0.0201	0.0225	0.0248	0.0268	0.0288	0.0308	0.0326	0.0345
(336.67)	*h*			2752.9	2894.9	3002.2	3175.5	3324.1	3461.0	3591.9	3719.7	3845.7	3970.9	4096.0
	s			5.5595	5.7832	5.9457	6.1945	6.3931	6.5648	6.7192	6.8615	6.9944	7.1200	7.2393
15.0	*v*			0.0115	0.0139	0.0157	0.0185	0.0208	0.0229	0.0249	0.0268	0.0286	0.0304	0.0321
(342.16)	*h*			2693.0	2858.9	2975.5	3157.6	3310.8	3450.5	3583.3	3712.4	3839.5	3965.6	4091.3
	s			5.4435	5.7049	5.8817	6.1433	6.3479	6.5230	6.6797	6.8235	6.9576	7.0839	7.2039
16.0	*v*			0.0098	0.0125	0.0143	0.0170	0.0193	0.0214	0.0232	0.0250	0.0267	0.0284	0.0301
(347.36)	*h*			2617.0	2819.5	2947.5	3139.6	3297.3	3439.8	3574.6	3705.1	3833.3	3960.2	4086.6
	s			5.3045	5.6238	5.8177	6.0935	6.3045	6.4832	6.6422	6.7876	6.9228	7.0499	7.1706
17.0	*v*				0.0112	0.0130	0.0158	0.0180	0.0199	0.0218	0.0235	0.0251	0.0267	0.0282
(352.29)	*h*				2775.9	2917.8	3120.9	3283.6	3429.1	3565.9	3697.8	3827.0	3954.8	4081.9
	s				5.5364	5.7533	6.0449	6.2627	6.4451	6.6064	6.7534	6.8897	7.0178	7.1391
18.0	*v*				0.0100	0.0119	0.0147	0.0168	0.0187	0.0204	0.0221	0.0236	0.0251	0.0266
(356.99)	*h*				2726.9	2886.3	3101.7	3269.7	3418.3	3557.0	3690.4	3820.7	3949.4	4077.2
	s				5.4465	5.6881	5.9973	6.2222	6.4085	6.5722	6.7206	6.8563	6.9812	7.1091

Table 6. Superheated Steam – SI Units

Pressure MPa (Sat. T)		Temperature—Degrees Celsius 375	400	425	450	475	500	550	600	650	700	750	800
20	*v*	0.00768	0.00995	0.0115	0.0127	0.0138	0.0148	0.0166	0.0182	0.0197	0.0211	0.0225	0.0239
(365.75)	*h*	2602.4	2816.8	2952.9	3061.5	3155.8	3241.2	3396.2	3539.2	3675.6	3808.2	3936.5	4067.7
	s	5.2272	5.5525	5.7510	5.9041	6.0322	6.1445	6.3390	6.5077	6.6596	6.7994	6.9301	7.0534
22	*v*	0.00490	0.00826	0.00987	0.0111	0.0122	0.0131	0.0148	0.0163	0.0178	0.0191	0.0204	0.0216
(373.71)	*h*	2354.0	2735.6	2897.8	3019.0	3121.0	3211.8	3373.8	3521.2	3660.6	3795.5	3927.6	4058.2
	s	4.8240	5.4050	5.6417	5.8124	5.9511	6.0704	6.2736	6.4475	6.6029	6.7451	6.8776	7.0022
24	*v*	0.00206	0.00673	0.00850	0.00977	0.0108	0.0118	0.0134	0.0148	0.0161	0.0174	0.0186	0.0197
	h	1872.5	2637.4	2837.4	2974.0	3084.8	3181.4	3350.9	3502.9	3645.5	3782.8	3916.7	4048.8
	s	4.0731	5.2366	5.5289	5.7212	5.8720	5.9991	6.2116	6.3910	6.5499	6.6946	6.8269	6.9549
26	*v*	0.00192	0.00529	0.00731	0.00862	0.00967	0.0106	0.0121	0.0135	0.0148	0.0160	0.0171	0.0182
	h	1832.8	2510.6	2770.6	2926.1	3047.0	3150.2	3327.6	3484.4	3630.4	3770.0	3905.6	4039.3
	s	4.0059	5.0304	5.4106	5.6296	5.7942	5.9298	6.1523	6.3374	6.5000	6.6473	6.7633	6.9107
28	*v*	0.00185	0.00385	0.00625	0.00762	0.00867	0.00957	0.0111	0.0124	0.0136	0.0147	0.0158	0.0168
	h	1809.1	2334.4	2695.8	2875.1	3007.7	3117.9	3303.9	3465.7	3615.1	3757.1	3894.8	4029.7
	s	3.9635	4.7552	5.2841	5.5367	5.7170	5.8621	6.0953	6.2863	6.4527	6.6026	6.7405	6.8693
30	*v*	0.00179	0.00280	0.00530	0.00674	0.00780	0.00869	0.0102	0.0114	0.0126	0.0137	0.0147	0.0156
	h	1792.0	2152.4	2611.9	2820.9	2966.7	3084.8	3279.8	3446.9	3599.7	3744.2	3883.8	4020.2
	s	3.9314	4.4750	5.1473	5.4419	5.6402	5.7956	6.0403	6.2374	6.4077	6.5602	6.7009	6.8303
35	*v*	0.00170	0.00211	0.00344	0.00496	0.00606	0.00693	0.00835	0.00952	0.0105	0.0115	0.0124	0.0133
	h	1762.5	1968.4	2373.5	2671.0	2857.3	2998.0	3218.1	3399.0	3560.9	3711.9	3856.3	3996.5
	s	3.8725	4.2140	4.7752	5.1945	5.4480	5.6331	5.9093	6.1229	6.3032	6.4625	6.6072	6.7411
40	*v*	0.00164	0.00191	0.00254	0.00369	0.00476	0.00562	0.00699	0.00809	0.00905	0.00993	0.0107	0.0115
	h	1742.7	1931.1	2198.6	2511.8	2740.1	2906.7	3154.6	3350.4	3521.8	3679.4	3828.8	3972.8
	s	3.8290	4.1141	4.5037	4.9447	5.2555	5.4746	5.7859	6.0170	6.2079	6.3743	6.5239	6.6614
45	*v*	0.00160	0.00180	0.00219	0.00292	0.00382	0.00463	0.00594	0.00698	0.00788	0.00870	0.00945	0.0102
	h	1726.0	1897.6	2110.8	2377.3	2623.4	2813.4	3090.2	3301.5	3482.5	3647.0	3801.3	3949.3
	s	3.7939	4.0505	4.3612	4.7362	5.0710	5.3209	5.6685	5.9179	6.1197	6.2932	6.4479	6.5891
50	*v*	0.00156	0.00173	0.00201	0.00249	0.00317	0.00389	0.00512	0.00611	0.00696	0.00772	0.00842	0.00907
	h	1716.6	1874.3	2060.2	2284.4	2520.0	2722.5	3025.7	3252.6	3443.5	3614.8	3774.1	3926.0
	s	3.7642	4.0028	4.2738	4.5892	4.9096	5.1759	5.5566	5.8245	6.0372	6.2180	6.3777	6.5226
60	*v*	0.00150	0.00163	0.00182	0.00208	0.00247	0.00295	0.00395	0.00483	0.00559	0.00627	0.00688	0.00745
	h	1699.9	1843.1	2001.6	2179.8	2375.2	2570.4	2902.1	3157.0	3366.8	3551.4	3720.6	3880.2
	s	3.7148	3.9316	4.1626	4.4134	4.6790	4.9356	5.3519	5.6528	5.8867	6.0815	6.2512	6.4034
70	*v*	0.00146	0.00157	0.00171	0.00189	0.00214	0.00246	0.00322	0.00397	0.00465	0.00525	0.00580	0.00632
	h	1688.4	1822.9	1967.1	2123.4	2291.7	2466.2	2795.0	3067.5	3293.6	3490.5	3669.0	3835.8
	s	3.6743	3.8776	4.0860	4.3060	4.5368	4.7662	5.1786	5.5003	5.7522	5.9600	6.1390	6.2982
80	*v*	0.00143	0.00152	0.00163	0.00177	0.00195	0.00219	0.00276	0.00338	0.00398	0.00452	0.00501	0.00548
	h	1680.4	1808.8	1944.0	2087.6	2239.6	2397.6	2709.9	2988.1	3225.7	3432.9	3619.7	3793.3
	s	3.6395	3.8339	4.0311	4.2331	4.4398	4.6474	5.0391	5.3674	5.6321	5.8509	6.0382	6.2039
90	*v*	0.00140	0.00146	0.00157	0.00169	0.00184	0.00201	0.00246	0.00297	0.00348	0.00397	0.00442	0.00484
	h	1674.6	1798.6	1927.6	2062.7	2204.0	2350.3	2645.2	2920.8	3164.4	3379.5	3573.5	3753.0
	s	3.6089	3.7965	3.9847	4.1747	4.3669	4.5593	4.9288	5.2540	5.5255	5.7526	5.9470	6.1184
100	*v*	0.00137	0.00144	0.00153	0.00163	0.00175	0.00189	0.00225	0.00267	0.00311	0.00355	0.00395	0.00434
	h	1670.7	1791.1	1915.5	2044.5	2178.3	2316.2	2596.1	2865.1	3110.6	3330.8	3530.7	3715.2
	s	3.5815	3.7638	3.9452	4.1267	4.3086	4.4899	4.8407	5.1580	5.4316	5.6640	5.8644	6.0405

نمودار محاسبهٔمحاسبه بخار فلش



جدول محاسبهٔ گذر بخار

Pressure bar g	Velocity m/s	Pipe size (nominal) 15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150
		Actual inside pipe diameter Schedule 40 15.80	20.93	26.64	35.04	40.90	52.50	62.70	77.92	102.26	128.20	154.05
		Pipeline capacity kg/h										
0.4	15	9	15	25	43	58	95	136	210	362	569	822
	25	14	25	41	71	97	159	227	350	603	948	1 369
	40	23	40	66	113	154	254	363	561	965	1 517	2 191
0.7	15	10	18	29	51	69	114	163	251	433	681	983
	25	17	30	49	85	115	190	271	419	722	1 135	1 638
	40	28	48	78	136	185	304	434	671	1 155	1 815	2 621
1	15	12	21	34	59	81	133	189	292	503	791	1 142
	25	20	35	57	99	134	221	315	487	839	1 319	1 904
	40	32	56	91	158	215	354	505	779	1342	2 110	3 046
2	15	18	31	50	86	118	194	277	427	735	1 156	1 669
	25	29	51	83	144	196	323	461	712	1 226	1 927	2 782
	40	47	82	133	230	314	517	737	1 139	1 961	3 083	4 451
3	15	23	40	65	113	154	254	362	559	962	1 512	2 183
	25	38	67	109	188	256	423	603	931	1 603	2 520	3 639
	40	61	107	174	301	410	676	964	1 490	2 565	4 032	5 822
4	15	28	50	80	139	190	313	446	689	1 186	1 864	2 691
	25	47	83	134	232	316	521	743	1 148	1 976	3 106	4 485
	40	75	132	215	371	506	833	1 189	1 836	3 162	4 970	7 176
5	15	34	59	96	165	225	371	529	817	1 408	2 213	3 195
	25	56	98	159	276	375	619	882	1 362	2 347	3 688	5 325
	40	90	157	255	441	601	990	1 411	2 180	3 755	5 901	8 521
6	15	39	68	111	191	261	430	613	947	1 631	2 563	3 700
	25	65	114	184	319	435	716	1 022	1 578	2 718	4 271	6 167
	40	104	182	295	511	696	1 146	1 635	2 525	4 348	6 834	9 867
7	15	44	77	125	217	295	487	695	1 073	1 848	2 904	4 194
	25	74	129	209	362	493	812	1 158	1 788	3 080	4 841	6 989
	40	118	206	334	579	788	1 299	1 853	2 861	4 928	7 745	11 183
8	15	49	86	140	242	330	544	775	1 198	2 063	3 242	4 681
	25	82	144	233	404	550	906	1 292	1 996	3 438	5 403	7 802
	40	131	230	373	646	880	1 450	2 068	3 194	5 501	8 645	12 484
10	15	60	105	170	294	401	660	942	1 455	2 506	3 938	5 686
	25	100	175	283	490	668	1 101	1 570	2 425	4 176	6 563	9 477
	40	160	280	453	785	1 069	1 761	2 512	3 880	6 682	10 502	15 164
14	15	80	141	228	394	537	886	1 263	1 951	3 360	5 281	7 625
	25	134	235	380	657	896	1 476	2 105	3 251	5 600	8 801	12 708
	40	214	375	608	1 052	1 433	2 362	3 368	5 202	8 960	14 082	20 333

Pressure bar a	Pressure factor (F)
0.05	0.0301
0.10	0.0115
0.15	0.0253
0.20	0.0442
0.25	0.0681
0.30	0.0970
0.35	0.1308
0.40	0.1694
0.45	0.2128
0.50	0.2610
0.55	0.3140
0.60	0.3716
0.65	0.4340
0.70	0.5010
0.75	0.5727
0.80	0.6489
0.85	0.7298
0.90	0.8153
0.95	0.9053
1.013	1.0250

Pressure bar g	Pressure factor (F)
0	1.025
0.05	1.126
0.10	1.230
0.15	1.339
0.20	1.453
0.25	1.572
0.30	1.694
0.35	1.822
0.40	1.953
0.45	2.090
0.50	2.230
0.55	2.375
0.60	2.525
0.65	2.679
0.70	2.837
0.75	2.999
0.80	3.166
0.85	3.338
0.90	3.514
0.95	3.694
1.00	3.878
1.05	4.067
1.10	4.260
1.15	4.458
1.20	4.660
1.25	4.866
1.30	5.076
1.35	5.291
1.40	5.510
1.45	5.734
1.50	5.961
1.55	6.193
1.60	6.429
1.65	6.670
1.70	6.915
1.75	7.164
1.80	7.417
1.85	7.675
1.90	7.937
1.95	8.203
2.00	8.473

Pressure bar g	Pressure factor (F)
2.05	8.748
2.10	9.026
2.15	9.309
2.20	9.597
2.25	9.888
2.30	10.18
2.35	10.48
2.40	10.78
2.45	11.09
2.50	11.41
2.55	11.72
2.60	12.05
2.65	12.37
2.70	12.70
2.75	13.03
2.80	13.37
2.85	13.71
2.90	14.06
2.95	14.41
3.00	14.76
3.10	15.48
3.20	16.22
3.30	16.98
3.40	17.75
3.50	18.54
3.60	19.34
3.70	20.16
3.80	21.00
3.90	21.85
4.00	22.72
4.10	23.61
4.20	24.51
4.30	25.43
4.40	26.36
4.50	27.32
4.60	28.28
4.70	29.27
4.80	30.27
4.90	31.29
5.00	32.32
5.10	33.37
5.20	34.44
5.30	35.52
5.40	36.62
5.50	37.73
5.60	38.86
5.70	40.01
5.80	41.17
5.90	42.35
6.00	43.54
6.10	44.76
6.20	45.98
6.30	47.23
6.40	48.48
6.50	49.76
6.60	51.05
6.70	52.36
6.80	53.68
6.90	55.02
7.00	56.38
7.10	57.75
7.20	59.13
7.30	60.54
7.40	61.96
7.50	63.39

Pressure bar g	Pressure factor (F)
7.60	64.84
7.70	66.31
7.80	67.79
7.90	69.29
8.00	70.80
8.10	72.33
8.20	73.88
8.30	75.44
8.40	77.02
8.50	78.61
8.60	80.22
8.70	81.84
8.80	83.49
8.90	85.14
9.00	86.81
9.10	88.50
9.20	90.20
9.30	91.92
9.40	93.66
9.50	95.41
9.60	97.18
9.70	98.96
9.80	100.75
9.90	102.57
10.00	104.40
10.20	108.10
10.40	111.87
10.60	115.70
10.80	119.59
11.00	123.54
11.20	127.56
11.40	131.64
11.60	135.78
11.80	139.98
12.00	144.25
12.20	148.57
12.40	152.96
12.60	157.41
12.80	161.92
13.00	166.50
13.20	171.13
13.40	175.83
13.60	180.58
13.80	185.40
14.00	190.28
14.20	195.23
14.40	200.23
14.60	205.30
14.80	210.42
15.00	215.61
15.20	220.86
15.40	226.17
15.60	231.53
15.80	236.97
16.00	242.46
16.20	248.01
16.40	253.62
16.60	259.30
16.80	265.03
17.00	270.83
17.20	276.69
17.40	282.60
17.60	288.58
17.80	294.62
18.00	300.72

Pressure drop factor (PDF)	Pipe size (mm)												
	15	20	25	32	40	50	65	80	100	150	200	250	300
	Capacity (kg/h)												
0.00016						30.40	55.41	90.72	199.1	998.2	1275	2329	3800
0.00020					16.18	34.32	62.77	103.0	225.6	662.0	1437	2623	4276
0.00025				10.84	17.92	38.19	69.31	113.2	249.9	735.5	1678	2934	4715
0.00030				11.95	19.31	41.83	75.85	124.1	271.2	804.5	1733	3172	5149
0.00035			6.86	12.44	20.59	43.76	80.24	130.0	285.3	845.3	1823	3346	5530
0.00045		3.62	7.94	14.56	23.39	50.75	92.68	150.9	333.2	979.7	2118	3884	6267
0.00055		4.04	8.99	16.18	26.52	57.09	103.8	170.8	373.1	1101	2382	4338	7057
0.00065		4.46	9.56	17.76	29.14	62.38	113.8	186.7	409.8	1207	2595	4761	7741
0.00075		4.87	10.57	19.31	31.72	68.04	124.1	203.2	445.9	1315	2835	5172	8367
0.00085		5.52	11.98	21.88	35.95	77.11	140.7	230.2	505.4	1490	3215	5851	9482
0.00100	1.96	5.84	12.75	23.50	38.25	81.89	148.6	245.2	539.4	1579	3383	6228	10052
0.00125	2.10	6.26	13.57	24.95	40.72	87.57	159.8	261.8	577.9	1699	3634	6655	10639
0.00150	2.39	7.35	15.17	28.04	45.97	99.84	179.3	295.1	652.8	1908	4091	7493	11999
0.00175	2.48	7.51	16.30	29.61	49.34	103.4	188.8	311.1	686.5	2017	4291	7852	13087
0.0020	2.84	8.58	18.63	33.83	56.39	118.2	215.8	355.5	784.6	2305	4904	8974	14956
0.0025	3.16	9.48	20.75	37.25	61.30	132.0	240.5	391.3	881.7	2456	5422	10090	16503
0.0030	3.44	10.34	22.5	40.45	66.66	143.4	262.0	429.8	924.4	2767	6068	11033	18021
0.0040	4.17	12.50	26.97	48.55	80.91	173.1	313.8	514.9	1128	3330	7208	13240	21625
0.0050	4.71	14.12	30.40	54.92	90.23	196.1	354.0	578.6	1275	3727	8189	14858	24469
0.0060	5.25	15.69	35.60	60.31	99.05	215.8	392.3	647.3	1412	4148	9072	16476	26970
0.0080	6.08	18.34	39.23	70.12	115.2	251.5	456.0	750.3	1648	4879	10543	19173	31384
0.0100	6.86	20.64	44.13	79.44	130.4	283.9	514.9	845.9	1863	5492	11867	21576	35307
0.0125	7.35	22.20	47.28	81.00	140.1	302.1	547.3	901.9	1983	5867	12697	23074	37785
0.0150	8.27	25.00	53.33	95.62	157.2	342.0	620.6	1020	2230	6620	14251	25974	42616
0.0175	8.58	26.39	55.78	100.4	165.6	360.4	665.1	1073	2360	6994	15017	27461	44194
0.0200	9.60	30.16	63.75	114.7	189.3	411.9	760.1	1226	2697	7993	17163	31384	50508
0.0250	10.99	33.48	70.73	127.3	209.8	459.7	834.6	1367	2970	8817	19332	34750	56581
0.0300	12.00	36.78	77.23	137.9	229.9	501.1	919.4	1480	3264	9792	20917	37697	62527
0.0400	14.46	44.16	93.17	169.2	279.5	600.7	1093	1790	3923	11622	25754	45604	75026
0.0500	16.43	49.53	104.4	191.2	313.8	676.7	1231	2020	4413	13044	28441	51489	85324
0.060	18.14	52.96	115.7	210.8	343.2	750.3	1373	2231	4855	14368	31384	57373	
0.080	21.08	62.28	134.8	245.2	402.1	872.8	1594	2599	5686	16677	36532		
0.100	24.03	70.12	152.0	277.0	455.0	980.7	1804	2942	6424	18879			
0.120	25.99	77.48	167.7	306.5	500.2	1078	1986	3236	7110	20841			
0.150	28.50	84.13	183.9	334.2	551.7	1195	2161	3494	7769				
0.200	34.37	102.0	220.7	402.1	622.0	1427	2599	4217	9317				
0.250	37.72	112.7	245.2	447.9	735.5	1565	2876	4658					
0.300	41.37	122.7	266.6	487.3	801.5	1710	3126	5057					
0.350	43.34	128.7	283.2	514.9	841.0	1802	3261						
0.400	49.93	147.1	323.6	588.4	961.1	2059	3727						
0.450	50.31	150.0	326.6	600.2	979.8	2083							
0.500	55.90	166.7	362.9	666.9	1089	2314							
0.600	62.28	185.3	402.1	735.5	1201								
0.700	63.07	188.8	407.6	750.9									
0.800	72.06	215.8	465.8	858.1									
0.900	73.28	218.4	476.6										

Specific weight of water

Temperature(°C)	Specific weight (kN/m^3)
0	9.805
5	9.807
10	9.804
15	9.792
20	9.789
25	9.777
30	9.765
40	9.731
50	9.690
60	9.642
70	9.589
80	9.530
90	9.467
100	9.399

Temperature(°F)	Specific weight (lb/ft^3)
32	62.42
40	62.43
50	62.41
60	62.37
70	62.30
80	62.22
90	62.11
100	62.00
110	61.86
120	61.71
130	61.55
140	61.38
150	61.20
160	61.00
170	60.80
180	60.58
190	60.36
200	60.12
212	59.83

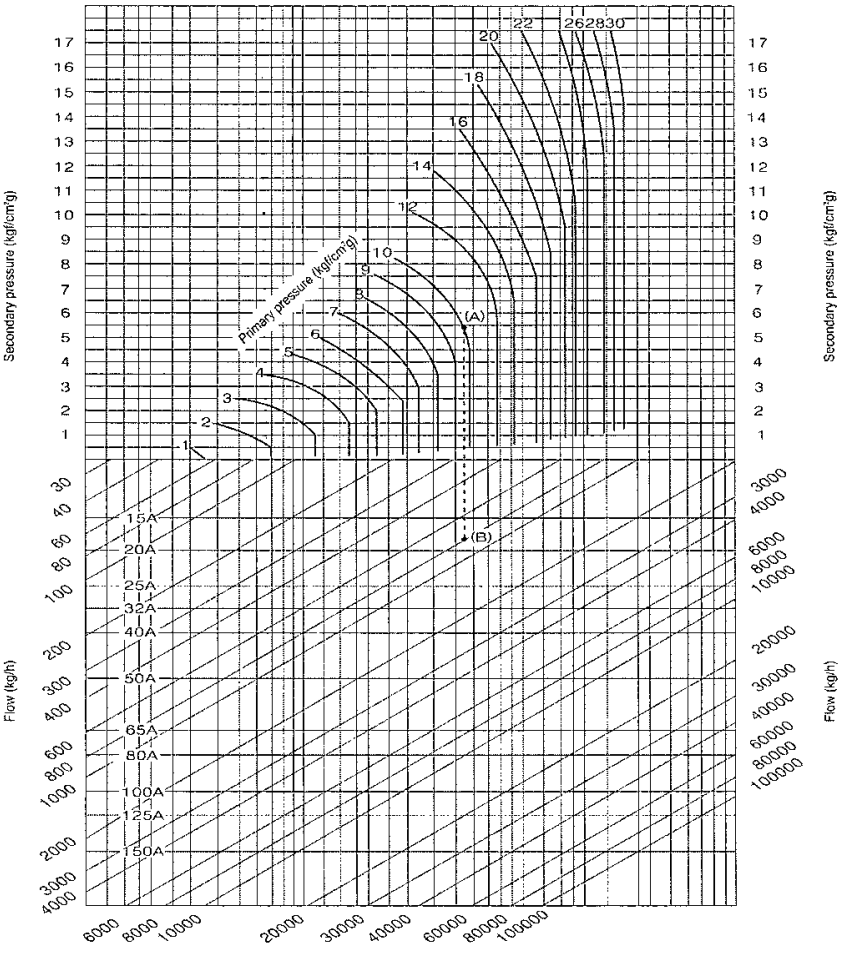
جدول محاسبهٔ تزریق مسقیم بخار در تانک پیشگرم(کیلوگرم در ساعت)

اختلاف فشار(بار) / قطر سوراخ(میلی‌متر)	۱	۲	۳
۱/۶	۱/۲	۱/۵	۳
۲	۱/۵	۳	۴
۳	۴	۷	۹
۴	۸	۱۲	۱۵
۵	۱۳	۱۹	۲۵

خواص گازها

Type of fluid	Molecular formula	Molecular weight	Adiabatic index	Critical temperature	Critical pressure	Liquid	
						Specific gravity	Temperature
ACETYLEN	C_2H_2	26.04	1.26	308.7	63.7	-	-
AIR	NH_3	28.96	1.40	132.5	38.4	-	-
AMMONIA	Ar	17.03	1.31	405.6	116.9	0.817	-79
ARGON	C_6H_6	39.95	1.67	150.8	50.4	1.650	-233
BENZENE	iso-C_4H_{10}	78.12	1.12	562.8	50.6	0.879	20
ISO-BUTANE	n-C_4H_{10}	58.13	1.10	408.2	37.7	0.557	20
N-BUTANE	CS_2	58.13	1.09	425.5	38.2	0.579	20
CARBON DISULFIDE	CO_2	76.14	1.21	549.2	78.0	1.263	20
CARBON ACID GAS	CO	44.00	1.29	304.2	77.8	0.101	-37
CARBON MONOXIDE	Cl_2	28.01	1.40	133.0	38.9	0.814	-194
CHLORINE	C_6H_{11}	70.91	1.35	417.2	78.8	1.560	-34
CYCLOHEXANE	n-$C_{10}H_{22}$	84.16	1.09	481.6	41.4	0.779	20
N-DECANE	C_2H_6	142.29	1.03	618.4	21.7	0.734	15.6
ETHANE	C_2H_5OH	30.07	1.19	305.4	48.9	0.546	-88
ETHYL ALCOHOL	C_2H_5	46.07	-	516.2	65.0	0.789	20
ETHYLENE	n-$CH_3(CH_2)_2CH_3$	28.05	1.24	282.7	51.9	0.568	-102
HELIUM	n-C_7H_{16}	4.00	1.66	5.3	5.4	-	-
N-HEPTANE	n-C_6H_{14}	100.21	1.05	540.2	27.8	-	-
N-HEXANE	HCl	86.18	1.06	507.7	30.9	0.659	20
HYDROCHLORIC ACID	H_2	36.46	1.41	324.7	86.0	-	-
HYDROGEN	H_2S	2.02	1.41	33.2	13.5	0.079	-253
SULFURETED HYDROGEN	CH_4	34.08	1.321	373.6	93.4	-	-
METHANE	CH_3OH	16.04	1.31	190.9	45.0	0.415	-164
METHYL ALCOHOL	CH_3Cl	32.04	1.20	512.6	81.8	0.792	20
METHYL CHLORIDE	N_2	50.49	1.20	416.3	68.8	0.952	0
NITROGEN	N_2O	28.01	1.40	126.3	35.4	1.026	-252
NITROUS OXIDE	n-$CH_3(CH_2)_7CH_3$	44.01	1.30	309.3	75.4	1.228	-89
N-NONAN	O_2	128.26	1.04	594.7	23.5	0.718	20
OXYGEN	n-$CH_3(CH_2)_3CH_3$	32.00	1.40	154.7	52.5	1.426	-252
N-PENTANE	n-$CH_3CH_2CH_3$	72.15	1.07	470.1	34.2	0.631	15.6
NPROPANE	H_2O	44.11	1.13	370.0	43.5	0.585	-45
STEAM	SO_2	18.02	1.33	647.1	225.8	1.000	4
SULPHUR DIOXIDE	$C_6H_5CH_3$	64.06	1.29	593.6	43.1	0.906	20
TOLUENE	CH_3CHCH_3	92.15	1.09	593.6	43.1	0.866	20
PROPYLENE	C_2H_4	42.08	1.15	365.1	46.9	0.609	-47
OCTANE		114.00	1.05	-	-	-	-

نمودار انتخاب فشارشکن بخار(SAMYANG YPR-100)



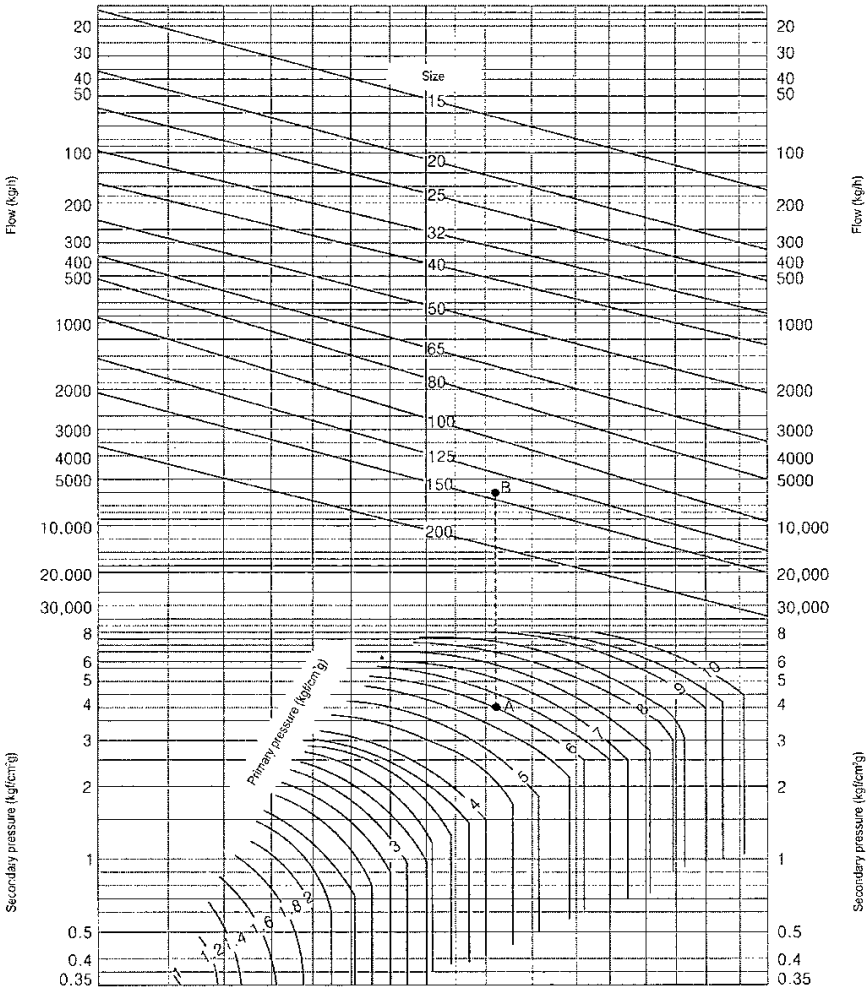
مثال:چناچه فشار ورودی*kgf/cm2* ۱۰و خروجی*kgf/cm2* ۵/۵ و به ۸۰۰ کیلوگرم در ساعت بخار احتیاج باشد.

از محور عمودی از نقطهٔ*kgf/cm2* ۵/۵ به فشار *kgf/cm2* ۱۰ تقاطع می‌دهیم(نقطه A)

از نقطهٔ A عمود به پایین حرکت کرده تا به خط مایل ۸۰۰ کیلوگرم در ساعت برسیم.(نقطه B)

این نقطه مابین DN15,DN20 است. سایز DN20 را انتخاب می کنیم.

نمودار انتخاب فشارشکن بخار(SAMYANG YPR-1S)



مثال:چناچه فشار ورودی*kgf/cm2* ۶ و خروجی*kgf/cm2* ۴ و به ۶۰۰۰ کیلوگرم در ساعت بخار احتیاج باشد.

از محور عمودی از نقطهٔ*kgf/cm2* ۴ به فشار *kgf/cm2* ۶ تقاطع می‌دهیم(نقطه A)

از نقطهٔ A عمود به بالا حرکت کرده تا به محور افقی۶۰۰۰ کیلوگرم در ساعت برسیم.(نقطهB)

این نقطه مابین DN125,DN150 است. سایز DN150 را انتخاب می کنیم.

منابع

منابع لاتین:

- The centrifugal pump handbook By: CALPEDA
- Industrial boiler handbook By: GRUNDFOS
- Hydronic Heating and Hot Water Recirc Systems handbook By: GRUNDFOS
- The Steam and Condensate Loop Book By:Spirax sarco
- Improving Energy Efficiency of Boiler Systems By:A. Bhatia
- BOILER ROOM GUIDE By: Cleaver-Brooks
- BOILER EFFICIENCY GUIDE By:Cleaver-Brooks
- Boiler Operators handbook By:Kenneth E.heselton
- Energy Tips By:U.S. Department of Energy
- Industrial Steam Trapping Handbook By:Yarway
- STEAM TRAPS & SPECIALTIES DESIGNER'S GUIDE By:NICHOLSON
- Solution Source for Steam ،Air and Hot Water Systems By:Armstrong
- HVAC and Chemical Resistance Handbook for the Engineer and Architect By: tom arimes
- THE ARMSTRONG STEAM TRAP BOOK CATALOG & EDUCATIONAL HANDBOOK
- The Boiler Book By: Cleaver-Brooks
- STEAM TRAPS ENGINEERING DATA MANUAL By:ITT Industries
- INDUSTRIAL WATER TREATMENT PROCEDURES
- INDUSTRIAL WATER TREATMENTOPERATION AND MAINTENANCE
- The Nalco Guide to Boiler Failure Analysis By:Robert D. Port-Harvey M. Herro
- The Nalco Water Handbook By:Frank N. Kemmer
- Water treatment ،storage and blowdown For steam boilers By:Spirax sarco

مراجع اینترنتی:

www.samyangsys.co.kr
www.spiraxsarco.com
www.gestra.com

www.tlv.com
www.manufacturing.energy.gov
www.tycoflowcontrol.com

کتب فارسی :

انتخاب بویلر(شرکت پاکمن)- قربانعلی میرزاده
تکنولوژی دیگ‌های بخار- حسن رفیعی پور علوی
تله‌بخار- محمد رضا سلطاندوست
چیلر جذبی- محمد رضا سلطاندوست
مراجعات سریع - محمد رضا سلطاندوست
تکنولوژی دیگ‌های بخار صنعتی- حسن رفیعی پور علوی
مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای- حسن محمدی
مرجع کامل تاسیسات- داریوش هادی زاده
مبانی محاسبه و طراحی سیستم‌های بخار- سیروس معینی
مبانی مهندسی بازیافت و بهینه سازی انرژی سیستم‌های بخار- سیروس معینی
متالورژی، شیمی و خوردگی در بویلر- خسرو رحمانی
بویلرهای صنعتی- شاه نظری، رجبلو
مهندسی سیستم بخار- عادل قهرمانی
اصول و ساختار ولوها فلنچ‌ها و گسکت‌ها – مجید یوسفی
بویلرها و مولدهای بخار بازیاب – م.ملک پور
سیستم‌های هیدرونیک- بهرام خاکپور
روش‌های پیشگیری از رسوب و خوردگی در تاسیسات حرارتی و برودتی – امید امید بخش
یون زدایی از آب و فرآیندهای شیمیایی- نرگس اسماعیلی، فرهاد عبدالله فریدنی
تصفیه آب‌های صنعتی – مرتضی حسینیان
شیرهای کنترل – اکبر شیرخورشیدیان
جزوهٔ آموزشی مشعل-مهندس خلخالی
راهنمای سریع شیرهای اطمینان – مجید یوسفی
راهنمای کاربران دیگ‌های بخار و مخازن تحت فشار- انوشیروان غفاری، ارجمند مهربانی و اردشیر مهربانی
مقررات ملی ساختمان

شرکت‌های همکار:

فارس بخاران *www.farsbokharan.ir*

پاکمن *www.pakman.ir*

شوفاژکار	www.chauffagekar.com
صنایع الکتروپمپ رایان	www.rayan-ep.com
تهویه نیا	www.nia-ir.com

نشر نوآور
تلفن: ۶۶۴۸۴۱۹۱-۲
DESIGN: H. MAZIYAR
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۲۰۹-۴