



جمهوری اسلامی ایران

وزارت نیرو

امور انرژی

راهنماهای فنی مدیریت انرژی



**استفاده اقتصادی
از دیگهای بخار
با سوخت ذغال سنگ**

۹

دفتر بهینه سازی مصرف انرژی

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

پیشگفتار

در طی دهه آینده، هزینه انرژی الکتریکی چه برای گرمایش و سرمایش، چه برای روشنایی و چه بعنوان نیروی محرکه در فرآیند تولید صنعتی، ادارات، مدارس، منازل، ... رشد چشمگیری پیدا خواهد کرد که البته دلایل این رشد، خارج از بحث این نوشتار است.

در عرصه رقابت جهانی در راستای مصرف کمتر (مصرف بهینه) و تولید هرچه بیشتر، کشورها، جوامع و صنایعی موفقتر خواهند بود که در این رقابت که شاید از دیدگاهی بتوان آن را مبارزه برای تنوع بقا و ادامه فعالیت نامید، با تحقیقات و مطالعات موفق به یافتن و پس از آن بکار بردن راههای جلوگیری از اتلاف انرژی شوند.

انرژی بطور عام و انرژی الکتریکی بطور خاص که امروز در اختیار و خدمت هم میهنان عزیز، قرار می گیرد، با هزینه‌ای به مراتب گزافتر تهیه می شود ولیکن دولت جمهوری اسلامی ایران با تأمین بخشی از هزینه‌های تولید آن از محل درآمدهای عمومی خود و یا به قیمت عدم انجام بسیاری از پروژه‌های زیربنایی ملی، آنرا بدینگونه در اختیار وا می گذارد.

اتلاف این انرژی الکتریکی و اصولاً هر نوع انرژی تولید شده از منابع فسیلی، علاوه بر خسارات مالی جبرانناپذیری که دارد، زیانهای غیرقابل انکاری نیز بر محیط زیست ملی ما و جهان وارد خواهد آورد. اکنون سالیان متمادی از زمانی می گذرد که کشورهای پیشرفته که حتی برخی از آنها از حداکثر امکانات طبیعی و صنعتی برای تولید انرژی برخوردارند، در کنار تلاش در جهت استفاده از انرژی‌های نو (خورشید، باد، امواج، ...)، استفاده صحیح از انرژی را در رأس اهم اهداف خود قرار داده و صاحبان صنایع، صنعتگران، مدیران سازمانها، و حتی سازندگان ساختمانهای مسکونی و بالاخره استفاده‌کنندگان این بناها را مخاطب قرار داده و با وضع دستورالعملها و در مواردی ضوابط و قوانین بازدارنده، آنها را تشویق، راهنمایی و حتی راهبری در جهت جلوگیری از اتلاف انرژی می نمایند.

انجام پاره‌ای از این اقدامات، اگر در زمان مناسب نسبت به اعمال آنها اقدام گردد، حتی هیچگونه هزینه اضافی را نیز تحمیل نخواهد نمود و جهت همه گیر شدن جنبش جلوگیری از اتلاف انرژی، دائماً جلسات توجیهی و سمینارهایی برای تصمیم گیرندگان برگزار می گردد تا از پی آمدها و بهتر بگوئیم عواقب مختلف آن آگاه گردند. در کنار اقدامات فوق، تلاش متخصصین و دانشمندان در جهت اختراع، ابداع و تولید وسایل و تجهیزات کارآمد نیز جبهه دیگری است که برای مبارزه با اتلاف انرژی گشوده شده است که از جمله آنها می توان به تولید صنعتی تجهیزات و لامپهای پراوری، کم مصرف و بادوام اشاره کرد.

با توجه به روند افزایش جمعیت و تبعات آن و هرچه بیشتر مستهلک شدن منابع تولید انرژی، چندان دور نخواهد بود که نه تنها افراد، بلکه جوامع نیز در موقعیتی قرار نداشته باشند که بتوانند به میزان مورد علاقه خود انرژی مصرف نمایند بلکه با هرچه فشرده تر شدن جوامع، حتماً اهرمهای ملی و جهانی و خود

محدودکننده‌ای وارد عمل خواهند گردید که ابتکار عمل در زمینه تولید و مصرف انرژی را بعهدہ خواهند گرفت.

علیرغم اینکه کاربرد بعضی از اقدامات صرفه‌جویانه (یا بهتر است گفته شود استفاده صحیح و جلوگیری کننده از اتلاف بیهوده)، نیاز به مقداری سرمایه‌گذاری اولیه دارند که البته میزان آن بستگی به دامنه و وسعت اقدامات بعمل آمده دارد، ولی نکته‌ای که مبرهن و غیرقابل انکار می‌باشد آن است که این سرمایه‌گذاری اولیه در مدت کوتاهی خودبخود مستهلک می‌گردد.

علاوه بر نشست‌ها و سمینارهایی که به آنها اشاره گردید تشکیلات گوناگونی که در کشورهای مختلف جهان جهت سامان دادن به مشکل انرژی و آگاه کردن قشرهای مختلف جامعه ایجاد شده‌اند، اقدام به نشر جزوات، بروشورها و اطلاعیه‌هایی نموده و آنها را در دسترس کلیه افرادی که به نوعی با مصرف و صرفه‌جویی انرژی ارتباط دارند قرار می‌دهند.

در همین راستا، معاونت انرژی وزارت نیرو نیز اقدام به ترجمه و چاپ جزوه‌ای که ملاحظه می‌فرمائید نموده است که در کشور انگلستان و بتوسط "مرکز تحقیقات ساختمان" (Building Research Establishment) "واحد صرفه‌جویی انرژی مرکز تحقیقات ساختمان" (Building Research Energy Conservation Support Unit) "واحد پشتیبانی تکنولوژی انرژی" (Energy Technology Support Unit) "اداره کارائی انرژی" (Energy Efficiency Office) تهیه گردیده‌اند که این معاونت به لحاظ ضرورت تسریع در نشر و ارائه راهنماها و دستورالعملهای فنی، هیچگونه تغییری در ارقام، آمار، نمودارها، جداول و اشکال آن نداده است ولیکن امیدوار است که انشاء... چاپ‌های بعدی این جزوه و همچنین جزوات دیگری که در دست ترجمه و چاپ قرار دارند، براساس آمار و اطلاعات کشور ایران تهیه شده و در اختیار شما قرار داده شوند.

فهرست مطالب

۱ - مقدمه	۶
۲ - اطلاعات زمینه‌ای	۶
۱ - ۲ - خریداری سوخت	۶
۲ - ۲ - ذخیره‌سازی	۷
۳ - ۲ - حمل ذغال و خاکستر	۷
۴ - ۲ - کنترل آلودگی	۸
۳ - عوامل تأثیرگذار در استفاده موثر از انرژی	۹
۱ - ۳ - دیگ بخار نمونه	۹
۲ - ۳ - سیستم سوخت‌رسان مکانیکی	۱۰
۳ - ۳ - بازده حرارتی دیگ بخار	۱۱
۴ - ۳ - تلفات گازهای خروجی	۱۲
۵ - ۳ - تلف تشعشعی	۱۸
۶ - ۳ - زمانبندی احتراق	۱۹
۷ - ۳ - تخلیه	۱۹
۸ - ۳ - تصفیه آب	۲۰
۹ - ۳ - بازیافت مایع حاصل از میعان	۲۱
۱۰ - ۳ - سرویسهای بخار و آب گرم	۲۳
۴ - لیستی از روش‌های صرفه‌جویی هزینه	۲۶

۱ - مقدمه

ظرفیت دیگ‌های بخار و آب گرم تحت فشار، دو بخش صنعت و تجارت بین ۱۰۰kw تا ۳۰Mw (۳۶۱۰۰۰ Btu/h تا بیش از $10^6 \times 10^2$ Btu/h) می‌باشد. این کتابچه اساساً در مورد دیگ‌های بخار پوسته‌ای^۱ می‌باشد که ظرفیتهای میانی محدوده فوق را شامل می‌شوند و هزاران مورد آنها برای تولید گرما و فرایند مورد استفاده می‌باشند. با اینحال بخش عمده‌ای از اطلاعات، به انواع دیگر دیگ‌های بخار نیز مرتبط می‌باشد.

این کتابچه اطلاعاتی را در مورد روشهای صرفه‌جویی در سوخت فراهم می‌سازد و در نتیجه سبب صرفه‌جویی مالی در بهره‌برداری از این دیگ‌های بخار می‌گردد. روش بکار گرفته شده مراحل مربوطه از تحویل سوخت تا خروج نهائی گرما را مورد ارزیابی قرار داده و تلفات سیستم را مشخص و تعیین می‌کند. در نهایت لیستی از روشهای صرفه‌جویی در هزینه ارائه می‌شود.

بمنظور نشان دادن یک چشم‌انداز از ذخیره و صرفه‌جویی، یک دیگ بخار نمونه با هزینه ذغال‌سنگ معادل ۳۰۰۰۰۰ پوند در سال مورد مطالعه قرار گرفته است. واضح است که موارد خاص، بررسی‌های مربوط به خود را طلب می‌کنند، با اینحال یک بررسی کمی از یک مثال نمونه کمک می‌کند تا معیاری از صرفه‌جوییهای ممکن که مصرف‌کننده می‌تواند اعمال کند نشان داده شود.

بسیاری از دیگ‌های بخار در بازدهی کمتر از آنچه که می‌توانند داشته باشند، کار می‌کنند و به همین صورت نگهداری می‌شوند. توانایی صرفه‌جویی در سوخت می‌تواند با ارزش باشد و این کتابچه به شما خواهد گفت که چگونه می‌توان این صرفه‌جویی را اعمال کرد.

۲ - اطلاعات زمینه‌ای

۱ - ۲ - خریداری سوخت

هنگامی که احتمال افت قیمت سوخت در مورد قراردادهای طولانی مدت وجود داشته باشد، غالباً در قراردادها و مذاکرات با فروشنده، تخفیف‌هایی را می‌توان بدست آورد. به‌طور مشابه، چنانچه جابجایی و حمل سوخت درحال حاضر توسط خودروهای کوچکتر صورت می‌گیرد با انتخاب تریلرهای بزرگتر برای حمل سوخت و نیز با ذخیره‌سازی در فصل تابستان می‌توان امتیازات قیمتی خوبی را در هزینه‌های جابجایی بدست آورد.

در هر مجموعه تأسیساتی، جایگزینی سوخت با نوعی با درجه مرغوبیت متفاوت احتمالاً نامطلوب است، زیرا مشخصات اولیه تجهیزات احتراق دیگ بخار، سیستم سوخت‌رسانی و نیز تجهیزات همه متکی بر نوع سوختی است که در ابتدا در نظر گرفته شده است. در موارد نادر که این عمل توسط دست و بصورت غیر اتوماتیک با استفاده از کک صورت می‌گیرد، اتوماتیک نمودن سیستم سوخت باید مورد بررسی قرار گیرد. می‌توان در مورد

¹ Shell Boilers

خرید ذغال‌سنگ‌های با کیفیت پائینتر از جمله درجه گرم‌زایی کمتر و یا تولید خاکستر بیشتر فکر کرد، اما تصمیم‌گیری در چنین مواردی، اساساً متکی بر بررسی‌های فنی می‌باشد و پرسنل ارائه دهنده خدمات و متخصص سازمان ذغال سنگ و نیز شرکت تامین‌کننده سوخت باید مورد مشورت قرار گیرند.

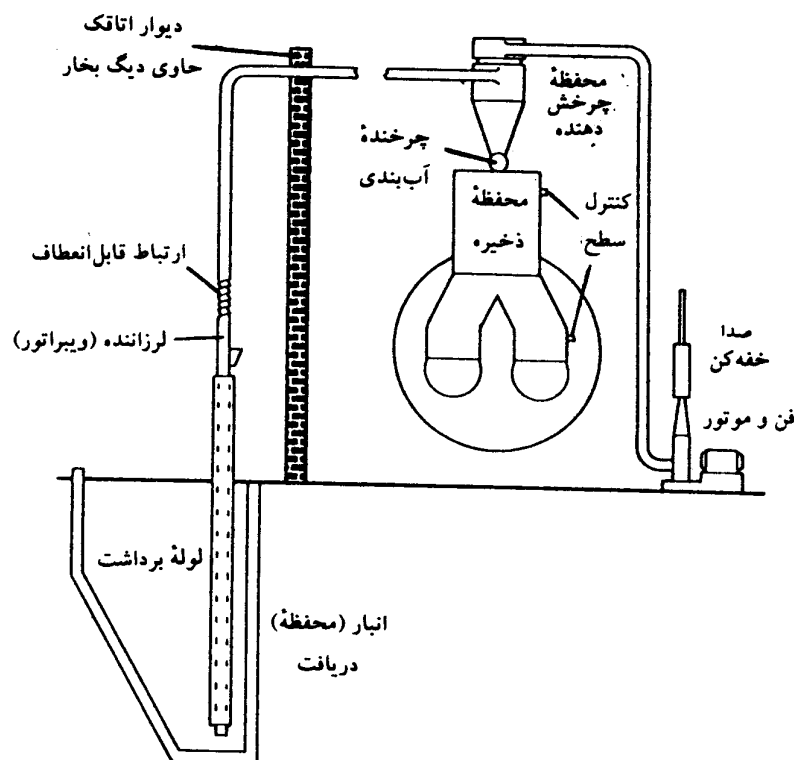
۲-۲- ذخیره‌سازی

چنانچه تصمیم گرفته شود که محموله‌های بزرگتری از سوخت حمل شود و یا سوخت را در مقادیر بیشتری ذخیره نماییم، فضای ذخیره‌سازی بیشتری مورد احتیاج خواهد بود. با اینحال چنانچه در نظر داشته باشیم که تمام این حجم را در فضای سرپوشیده ذخیره کنیم، ممکن است گسترش ظرفیت ذخیره‌سازی مقدور نباشد. از این نظر ذخیره‌سازی در فضاهای روباز انعطاف‌پذیری بیشتری دارند، اما برای چنین منظوری باید سطح محل‌های ذخیره‌سازی و سطح مناطق افزوده به آنها سخت و فشرده باشند تا از تلفات مواد سوختی در نشت بداخل زمین جلوگیری شود. کاربرد دیواره‌های آجری و یا سیمانی در اطراف محل‌های ذخیره‌سازی، برای جداسازی آنها کمک بسزایی به صرفه‌جویی می‌کند. ذغال‌سنگ تازه، در اثر ذخیره‌سازی بخشی از ارزش حرارتی خود را از دست می‌دهد، اما این تلف بسیار ناچیز است و بعد از چند ماه عملاً کاهش ارزش حرارتی متوقف می‌شود. به همین دلیل هنگامی که ذخیره‌های بزرگ وجود دارد، بهتر است سوختهایی که بتازگی حمل شده‌اند مصرف شوند و سوختهایی که مدت زیادی در انبار وجود داشته‌اند را دست نزنند. سیلوهای عمودی یکی از کاربردهای در حال گسترش هستند، زیرا این روش ذخیره‌سازی باعث کاهش مساحت ذخیره‌سازی و تسهیل در سوخت رسانی اتوماتیک می‌شود.

۲-۳- حمل ذغال و خاکستر

در یک تأسیسات در حال بهره‌برداری که بطور مناسب طراحی شده باشد، کار بدنی کارگران با هزینه گزاف باید در حداقل ممکن باشد. همچنین باید نظارت دقیقی در مورد وقفه‌های بین حرکت ذغال و خاکستر اعمال شود. بعنوان مثال، در شرایطی که بدلیل مسائل منطقی سرمایه‌ای، یک بالابر پیچی^۱ برای انتقال سوخت می‌تواند بکار رود، ممکن است از آن به جای سیستم دستی برای پرکردن محفظه سوخت استفاده شود که باعث آزاد شدن کارگران برای انجام دیگر وظایف محموله خواهد شد. تأسیسات بزرگ ممکن است از تغییرات در سیستم سوخت‌رسانی داخلی بهره‌جویند. بعضی از روشها و تجهیزاتی که اخیراً به بازار معرفی شده‌اند از جمله سیستم نیوماتیک (بادی) (شکل ۱)، می‌توانند سبب صرفه‌جویی در هزینه‌های تعمیر و بهره‌برداری شوند. در بسیاری موارد مشاهده می‌شود که سیستم نقاله ذغال‌سنگ بدون اینکه ضرورتی به کار آن باشد، در حال کار است، که این مسئله سبب تلف انرژی الکتریکی زیادی می‌شود.

¹ Screw elevator



شکل ۱: سیستم سوخت رسانی پنیوماتیک (بادی)

۴ - ۲ - کنترل آلودگی

صرفه جویی انرژی نمی تواند بطور مجزا و منفک از دیگر عوامل بررسی شود و نباید به قیمت افزایش انتشار آلودگی ها حاصل شود.

بسته به ظرفیت، دیگ های بخار باید با مقررات ویژه هوای سالم^۱ و دستورالعمل های حفاظتی محیط زیست^۲ همخوانی داشته باشند. دیگ های بخار با قدرت کمتر از ۲۰ MW باید با مقررات ویژه هوای سالم هماهنگی داشته باشند، در حالی که عملکرد دیگ های بخار با قدرتهای ۲۰ MW تا ۵۰ MW توسط مقررات بخش B مربوط به دستورالعمل های حفاظتی محیط زیست (EPA) دیکته می شوند. اداره HMIP (اداره سلطنتی بازرسی) در حال حاضر مسئولیت بازرسی و کنترل دیگ های بخاری که سوخت ورودی آنها براساس ارزش گرمایی بیش از ۵۰ MW باشد را به عهده دارد. همزمان با اعمال مقررات EPA، لزوم کاربرد روش BATNEEC (بهترین روش های موجود که مستلزم هزینه سنگین نیست) به جای بهترین روشهای موجود قدیمی احساس می شود. در وضع محدودیت های انتشار آلودگی، HMIP هزینه های نصب تجهیزات اضافی کاهش آلودگی را در نظر می گیرد. اگر این هزینه فوق العاده زیاد باشد، ممکن است کنترل اضافی مورد نیاز نباشد.

¹ Clean Air Act Regulations

² Environmental Protection Act

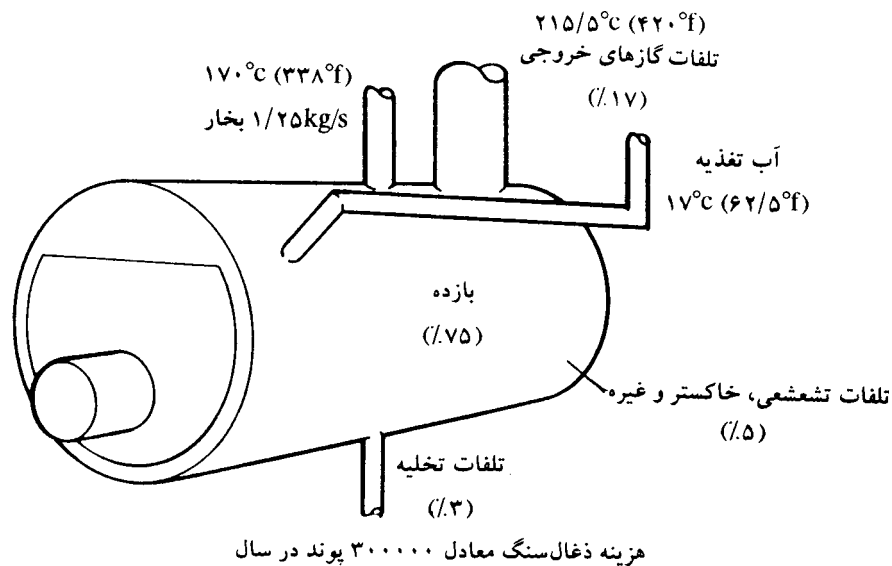
علاوه بر ضایعات قابل پیش‌بینی از جمله ترکیبات گوگرد، نیتروژن و گاز کربنیک، خاکستر و ماسه باقیمانده از سوخت دیگ‌های بخار ذغال سنگی، دارای مواد نامطلوب دیگری از جمله فلزات سنگین می‌باشند. این مواد نیز دارای پتانسیل آلوده‌کننده محیط می‌باشند و مشابه دیگر آلوده‌کننده‌ها تولید و انباشته شدن این زباله‌ها در آینده باید با کنترل بیشتری صورت پذیرد.

۳- عوامل تأثیرگذار در استفاده موثر از انرژی

۱- ۳- دیگ بخار نمونه

یک دیگ بخار بعنوان مثال بکار برده شده است تا اهمیت صرفه‌جویی نشان داده شود (شکل ۲). جزئیات عبارتند از:

بازده دیگ بخار براساس ارزش حرارتی ناخالص	
تلفات گاز خروجی	٪۱۷
تلفات تشعشعی و غیره	٪۲
تلفات تخلیه	٪۳
تلفات خاکستر و غیره	٪۳
بازده دیگ بخار	٪۷۵ = ۲۵ -
۱۰۰ دمای گاز خروجی	$150^{\circ}C$ ($420^{\circ}F$)
۲۱۵ دمای آب تغذیه	$17^{\circ}C$ ($62/5^{\circ}F$)
	فرض می‌شود که آب اصلی دارای درجه حرارت $10^{\circ}C$ ($50^{\circ}F$)
	می‌باشد و ٪۲۵ از مایع اشباع شده در درجه حرارت $38^{\circ}C$
	($100^{\circ}F$) برمی‌گردد.
تولید بخار	(ساعت / پوند ۱۰۰۰۰) $1/25 \text{ Kg/s}$
	۲۴ ساعت در روز، تمام سال
فشار بخار	barg (۱۰۰ psig)
۷ دمای بخار	(خشک اشباع شده) ($338^{\circ}F$) ($170^{\circ}C$) هزینه
ذغال سنگ معدنی به ازاء هر تن ۶۰ پوند	۳۰۰۰۰۰ پوند در سال وزن ذغال سنگ
مصرفی در سال برحسب تن	۵۰۰۰



شکل ۲: دیگ بخار نمونه

برای یک دیگ بخار کارکرد پیوسته به صورت ۲۴ ساعت در شبانه روز و بطور دائم در تمام روزهای سال، از نقطه نظر بهره‌برداری، غیر واقعی بنظر می‌رسد، اما شرایط فوق پایه ساده‌ای را برای مقایسه فراهم می‌سازد. به طور مشابه، بازده دیگ بخار ۷۵٪ در نظر گرفته شده است تا بهبود را بتوان پیشنهاد نمود. بسیاری از دیگ‌های بخار حتی به این نقطه کار از نظر بهره‌وری هم نمی‌رسند، اما از یک دیگ بخار پوسته‌ای خوب با طراحی مدرن در شرایط کاری در نظر گرفته شده هنگام طراحی، انتظار می‌رود که راندمانی بیش از ۷۸٪ داشته باشد.

۲-۳- سیستم سوخت‌رسان مکانیکی^۱

یکی از دلایل کاهش بازده سیستم‌های سوخت‌رسان مکانیکی، بهره‌برداری از دیگ‌های بخار در ظرفیت غیرنامی می‌باشد، و یا اگر بهر دلیل برای مدت طولانی در شرایط کاری کمتر از مقدار نامی که در طراحی در نظر گرفته شده است، کار کنند. در چنین مواردی ممکن است تجهیزات احتراق به طور مؤثر، با ظرفیت بزرگتر از نیاز مورد نظر باشد که این امر موجب کاهش بازده احتراق می‌گردد. این مسئله را می‌توان با نصب شبکه‌های کوتاه زنجیره‌ای و یا میله‌های کوتاه در حالتیکه از سوخت رسانهای کک استفاده می‌گردند اصلاح نمود. یک نوع تلفات که مستقیماً در ارتباط با سوخت می‌باشد، وقتی اتفاق می‌افتد که ذرات سوخت روی شبکه زنجیره‌ای احتراق (منقل مکانیکی) کوچک و خیلی خشک باشند. در چنین مواردی ذرات عناصر سوختی ممکن است از بین شبکه‌ها پائین ریخته و تلف شوند. مرطوب کردن ذغال سنگ تا آن حد که اگر ذرات مزبور را در دست فشرده کنیم به صورت توپ بهم بچسبند، می‌تواند به این امر کمک نماید. مرطوب کردن توسط

¹ Mechanical Stoker

آب همچنین می‌تواند سبب جلوگیری از تفرق و جدایی ذرات از یکدیگر شود که خود می‌تواند دلیلی بر سوخت ضعیف در سیستم‌های با شبکه احتراق زنجیره‌ای باشد.

۳ - ۳ - بازده حرارتی دیگ بخار

کمترین هزینه‌ها زمانی حاصل خواهد شد که دیگ‌های بخار با بازده حرارتی زیاد بهره‌برداری شوند. این بخش، تلفات مختلف را ارزیابی می‌کند و توجه را به نکاتی که سبب کاهش آنها می‌شود، معطوف می‌سازد. تلفات حرارتی دیگ‌های بخار شامل تلفات ناشی از گازهای خروجی، تلفات سطوح خارجی دیگ بخار که تلفات تشعشی نامیده می‌شود، سایر تلفات فرعی و تلفات ناشی از تخلیه می‌باشد. این مطلب را می‌توان در فرمول اساسی زیر خلاصه نمود:

$$\text{(تلفات تخلیه \% + تلفات فرعی \% + تلفات تشعشی \% + تلفات گازی خروجی \%)} - 100 \% = \text{بازده حرارتی دیگ بخار \%}$$

جزئیات بیشتر در این مورد و نیز محاسبات مربوطه را می‌توان در مرجع BS 845:1987 «روشهای ارزیابی عملکرد حرارتی دیگ‌های بخار، آب گرم و سیالات مخصوص انتقال حرارت در دمای بالا» یافت. با اینحال، از آنجایی که نظارت و اندازه‌گیری بسیار ساده‌ای از عملکرد دیگ بخار به عمل می‌آید، کلیه تلفات ذکر شده در بالا با اهمیت می‌باشند و باید مورد ارزیابی و رسیدگی جدی قرار گیرند.

محاسبات این کتابچه براساس ارزش حرارتی ناخالص سوخت انجام شده است. هنگامی که صحبت از محتوای حرارتی از سوخت و یا بازده دیگ بخار به میان می‌آید، اهمیت دارد که این مسئله به روشنی بیان گردد که منظور ارزش خالص است یا ارزش ناخالص، بنابراین درک این اصطلاحات دارای اهمیت اساسی می‌باشد. تمام سوختها دارای مقداری هیدروژن می‌باشند که هنگام سوختن به بخار آب تبدیل می‌گردد. حرارت نهفته در این بخار قابل بازیافت نمی‌باشد مگر اینکه میعان به وقوع بپیوندد. ارزش حرارتی ناخالص شامل کلیه حرارتهای موجود می‌باشد، در حالی که ارزش حرارتی خالص عبارتست از ارزش حرارتی ناخالص منهای ارزش گرمای نهان تبخیر.

هنگامی که در رابطه فوق ارزشهای حرارتی ناخالص بکار برده شود، تلفات گاز خروجی شامل حرارت موجود در بخار، و هنگامی که ارزشهای خالص در فرمول فوق بکار روند، این تلف حرارتی منظور نمی‌گردد. به همین دلیل بازده یک دیگ بخار براساس ارزشهای حرارتی خالص از نظر عددی بیشتر از وقتی است که ارزش حرارتی ناخالص در نظر گرفته شود، هر چند حرارت واقعی خروجی همیشه یکسان است. در بیشتر کشورهای اروپایی معمولاً ارزشهای خالص بکار می‌روند. برای محاسبات مشابه آنچه در این کتابچه موجود می‌باشد، ارزش ناخالص بکار برده می‌شود، زیرا ارتباط بین ارزش ناخالص با هزینه سوخت که خود با ارزش حرارتی ناخالص ارتباط دارد آسانتر می‌باشد. تفاوت بین مقادیر خالص و ناخالص تقریباً ۵٪ می‌باشد.

۴ - ۳ - تلفات گازهای خروجی

این بخش شامل مقداری تلفات متمایز از هم می‌باشد، اما در اینجا فقط تلفات عمده مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. این تلفات شامل حرارت موجود در گاز خروجی بصورت خشک همراه با حرارت موجود در رطوبت موجود در گازهای خروجی می‌باشد. این رطوبت شامل رطوبت موجود در سوخت به‌مراه مقدار رطوبتی است که در اثر احتراق هیدروژن موجود در سوخت ایجاد می‌شود.

• نسبت سوخت به هوا

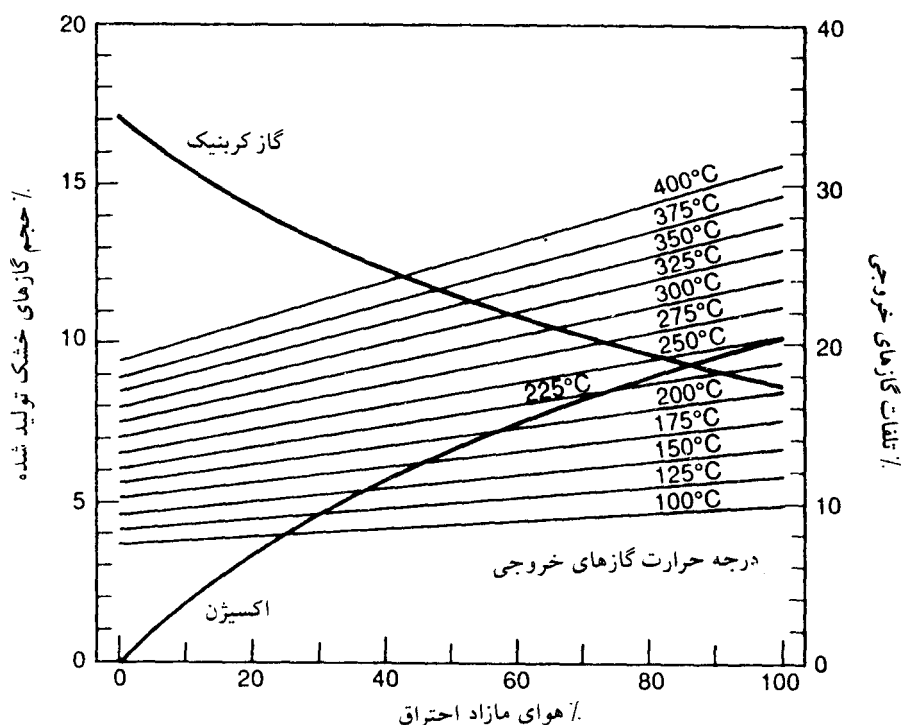
برای حصول به یک بازده حرارتی بالا، به عبارت دیگر بمنظور کاهش هزینه‌های سوخت، میزان هوای لازم برای احتراق باید در تمام زمانها محدود به میزان لازم و کافی برای احتراق کامل ذغال سنگ باشد. در عمل مفهوم این جمله معادل با این است که هوای تغذیه بیش از حد تئوریک باشد، اما این هوای مازاد حتی‌الامکان دارای حداقل مقدار خود باشد. میزان هوای مازاد برای بازده بهینه دیگ بخار بستگی به نوع سوخت بکار برده شده، نوع دیگ بخار، شرایط تعمیراتی آن، روش بهره‌برداری از آن، مهارت اپراتور (برای دیگ‌های بخار دارای کنترل دستی) و تجهیزات احتراق دارد.

گرما بوسیله هوای مازاد به گازهای خروجی انتقال می‌یابد. در نتیجه، با افزایش میزان هوای مازاد بر مقدار مورد نیاز برای سوخت کامل، تلف حرارتی ناشی از انتقال توسط هوا به گازهای خروجی و در نتیجه هزینه کارکرد دیگ بخار افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، چنانچه هوای محفظه سوخت بیش از اندازه کم باشد، بخشی از سوخت باقیمانده، بعلت سوخت ناقص تولید دود خواهد کرد که این نیز باعث کاهش راندمان و افزایش هزینه خواهد گردید. شیوه‌های کنترل مناسب برای تجهیزات محفظه سوخت و تنظیم آنها نتیجه را تعیین خواهد کرد. معمولاً برای بهترین تنظیم بهتر است با سازنده تجهیزات احتراقی و دیگ بخار مشاوره گردد.

تجربه نشان داده است که معمولاً در عمل، کنترل‌های سیستم احتراق بد تنظیم می‌شوند، بطوری که میزان هوای مازاد خیلی زیاد است که این منجر به تلفات زیاد حرارتی از طریق گازهای خروجی می‌گردد. در این موارد، کنترلها مطابق دستورالعمل سازنده دیگ بخار و کوره باید تنظیم شوند. چنانچه کوره‌ها و تجهیزات احتراق خوب نگهداری شده و بطور مناسب برای سوخت بکار رفته تنظیم شده باشند و براساس دستور کار سازنده از آنها بهره‌برداری شود، کنترل‌کننده‌های نسبت سوخت به هوا در دیگ‌های بخار مدرن قادر خواهند بود میزان هوا را بخوبی کنترل کنند تا هوای مازاد در حد حداقل خود قرار داشته باشد. در مورد دیگ‌های بخار بزرگتر که تحت بار کار می‌کنند، معمولاً تنظیم اتوماتیک نسبت سوخت به هوا سبب اقتصادی بودن بهره‌برداری خواهد شد.

برای بررسی این موضوع که آیا نسبت سوخت به هوا میزان مناسب را دارا می‌باشد، روش معمول، تجزیه و تحلیل گازهای خروجی از دودکش دیگ بخار می‌باشد. با پیدا کردن ترکیبات موجود در این گازهای خروجی و درجه حرارت این گازها، تلفات مربوط به آنها تعیین می‌شود.

روابط مربوط به ذغال‌سنگ معدنی در شکل ۳ نشان داده شده است. تلفات نشان داده شده در سمت راست شکل، مربوط به حرارت گاز خشک و رطوبت می‌باشد.



شکل ۳: تلفات گازهای خروجی - ذغال‌سنگ معدنی

صرفه‌جویی و یا تلفات مربوط به تغییرات بازده

محاسبات ساده صرفه‌جویی و تلفات باتوجه به تغییر بازده به شکل زیر می‌باشد: با داشتن بازده، اثر آن روی هزینه سوخت عبارتست از:

$$\text{بازده اولیه} - \text{بازده جدید} \times \frac{\text{هزینه اولیه سوخت}}{\text{بازده جدید}} = \text{تغییر هزینه سوخت}$$

چنانچه دیگ بخار مورد مثال را که دارای بازده ۷۵٪ است در نظر بگیریم و بازده را بمیزان ۴٪ تا مقدار ۷۹٪ بهبود دهیم، میزان صرفه‌جویی در سوخت عبارت خواهد بود از:

$$\text{پوند } ۱۵۱۹۰ = ۳۰۰,۰۰۰ \times \frac{۷۹-۷۵}{۷۹} = \text{صرفه‌جویی در میزان سوخت}$$

• تجزیه و تحلیل گازهای خروجی

کوره‌های مکانیکی را می‌توان در شرایط کاری متفاوت شامل مصرف هوای مازاد بر نیاز، از ۳۰ تا ۸۰ درصد و یا حتی بیشتر مشاهده نمود، بطوری که میزان گاز کربنیک (CO_2) موجود در گازهای خروجی در حدود ۱۰

الی ۱۴ درصد کل گازهای خروجی و یا کمتر خواهد بود (شکل ۳). واضحاً، مطلوب است که درصد CO_2 در گازهای خروجی در بیشترین مقدار ممکن باشد تا تلفات حرارتی را به کمترین حد ممکن کاهش دهیم. بنابراین مهم است که بتوانیم مقدار تراکم CO_2 و با اکسیژن (O_2) را در گازهای خروجی مرتباً ارزیابی کرده و میزان هوای اضافی را بطور مناسب کنترل کنیم.

عملکرد و بازده دیگ‌های بخار باید مرتباً با ارزیابی مقدار گاز CO_2 و یا O_2 بوسیله یک سیستم آنالیزور گاز و یک دماسنج که دمای گاز خروجی را می‌سنجد بررسی شود. این وسایل می‌توانند برای پرهیز از محاسبات مربوطه، توسط یک سیستم الکترونیکی قابل حمل با قیمت بین ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ پوند مستقیماً بازده را نشان دهند. کیت‌های قابل حمل برای تست اکسیدهای گوگرد و نیتروژن را (NO_x, SO_x) با هزینه‌ای حدود ۵۰۰۰ پوند می‌توان تهیه نمود. هزینه‌های بیشتر سرمایه‌گذاری در تأسیسات مانند آنالیزورهای SO_x و NO_x بیشتر مناسب تأسیسات بزرگتر، شامل چندین دیگ بخار می‌باشد. برای بررسی دقیق‌تر، تست منواکسید کربن (CO) را هم می‌توان برای ارزیابی بازده احتراق در نظر گرفت.

در هنگام استفاده از کیت‌های قابل حمل برای بررسی نمونه گازهای خروجی، باید دقت شود که بدلیل نفوذ هوا، گازهای خروجی تحت بررسی رقیق نشده باشند زیرا در این صورت ارزیابی ناصحیح خواهد بود. علاوه بر این، محل‌های فوق باید قبل از نمونه‌گیری پاک شده باشند تا اطمینان حاصل گردد که لوله‌های نمونه‌گیری مسدود نبوده‌اند.

بسیاری از دیگ‌های بخار دارای نقاط نمونه‌گیری نمی‌باشند، اما در مورد بسیاری از واحدهای انفرادی این را می‌توان بسادگی با ایجاد سوراخهای ریزی در قسمت فلزی خروجی، در محلی که تا حد ممکن از نقطه‌نظر عملی به دیگ بخار نزدیک باشد، ایجاد نمود. باید اطمینان حاصل شود که نمونه گرفته شده برای ارزیابی، نشان‌دهنده واقعی نوع گازهای خروجی می‌باشد که این عمل بوسیله قطع مسیر اصلی گاز توسط نمونه‌گیر و نیز ارزیابی دقیق و اصلاح همه تغییرات CO_2 و O_2 مقدور می‌گردد.

در بعضی از دیگ‌های آجری قدیمی پیدا کردن نقطه مناسبی برای نمونه‌گیری که از هوای نفوذی مصون باشد مشکل خواهد بود. تهیه کردن نقطه مناسب نمونه‌گیری برای این چنین سیستم‌هایی ممکن است شامل عوض کردن متوالی نقاط در نظر گرفته شده و بستن سوراخهای ایجاد شده قبلی باشد. بهرحال در خصوص هر نوع تجهیزات تست بکار برده شده، مهمترین مسئله‌ای که باید در نظر داشت اینست که دستورات و نحوه بهره‌برداری با دستورات سازنده هماهنگی داشته باشد و سیستم‌های ابزار دقیق مرتباً سرویس گردند.

دقت شود که با افزایش میزان CO_2 ، در عمل درجه حرارت گازهای خروجی کاهش می‌یابد.

صرفه‌جویی و یا تلفات ناشی از تغییر ترکیبات گازهای خروجی

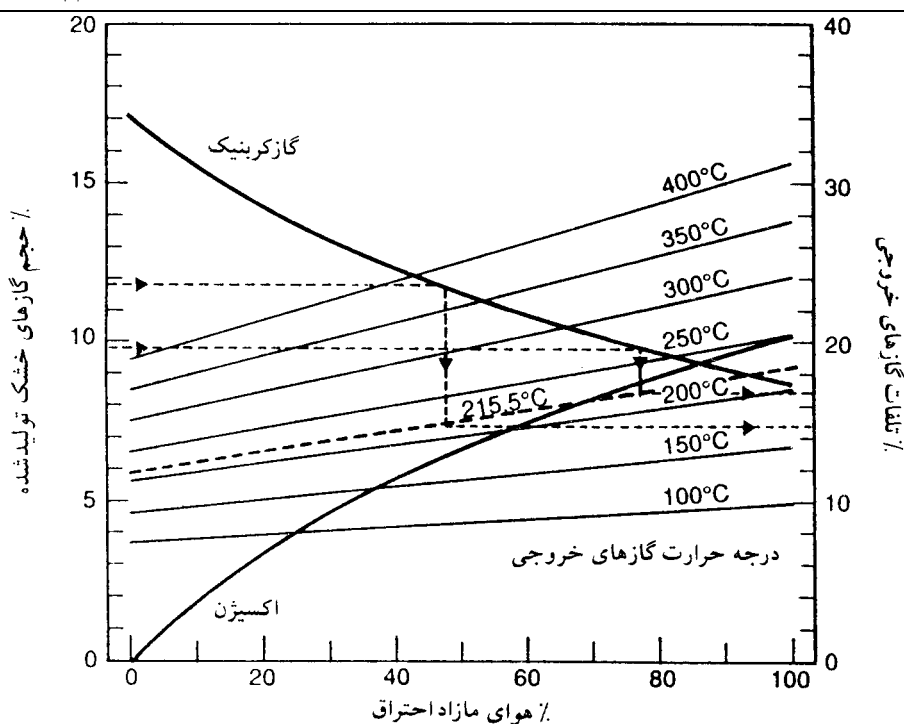
چنانچه در دیگ بخار نمونه، شرایطی سبب شود که درصد گاز CO_p موجود در گازهای خروجی در دمای $215/5^{\circ}C$ ($420^{\circ}F$) از $9/8\%$ به $11/8\%$ افزایش یابد، تلفات گازهای خروجی از 17% به 15% کاهش خواهد یافت (شکل ۵) و بازده دیگ بخار به میزان 2% تا سطح 77% بهبود خواهد یافت. در نتیجه صرفه‌جویی در هزینه سوخت به مقدار زیر خواهد گردید:

$$\text{پوند در سال} = 7792 = 3000000 \times \frac{(77 - 75)}{77}$$

این مثال در شکل ۴، برای ذغال سنگ معدنی نشان داده شده است تا نحوه استفاده از منحنی روشن گردد.

اگر درصد گاز CO_p موجود در گازهای خروجی از $9/8\%$ به مقدار $8/5\%$ کاهش یابد، تلفات گازهای خروجی افزایش یافته و در نتیجه بازده دیگ بخار به میزان 2% تا سطح 73% کاهش خواهد یافت. این امر سبب افزایش هزینه سالانه به میزان زیر خواهد گردید.

$$\text{پوند در سال} = 8219 = 3000000 \times \frac{(73 - 75)}{73}$$

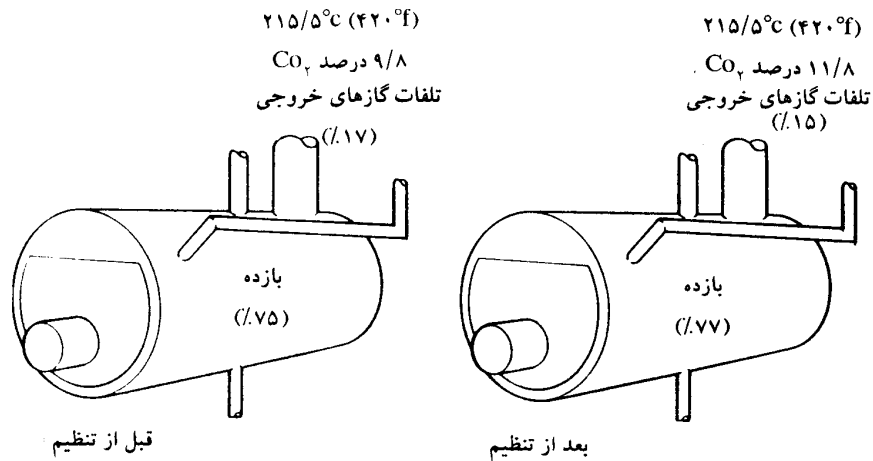


شکل ۴: تلفات گازهای خروجی - ذغال سنگ معدنی، مثال مورد بررسی

• پاکیزگی سطوح انتقال‌دهنده حرارت

چنانچه مسیرهای دود توسط دوده و دیگر ذرات گرفته شود، میزان حرارت منتقل شده از گازهای خروجی به آب کاهش می‌یابد. این مسئله همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است سبب افزایش درجه حرارت گازهای خروجی و در نتیجه افزایش تلفات مربوط به گازهای خروجی می‌شود. مسیرهای دود دیگ‌های بخار باید

بطور مرتب تمیز شوند تا این افزایش درجه حرارت حداقل گردد. سازندگان دیگ‌های بخار معمولاً توصیه می‌کنند که لوله‌های مسیر دوده هرچند وقت یکبار تمیز گردند و یا حداکثر درجه حرارت قابل قبول برای گازهای



شکل ۵: تلفات گازهای خروجی - ذغال سنگ معدنی، مثال مورد بررسی

خروجی قبل از تمیز کردن چقدر باید باشد. یک تغییر مشخص در جریان گازهای خروجی دیگ بخار نیز می‌تواند نشان‌دهنده نیاز به تمیز کردن مسیر باشد.

سیستمهای دمنده دود می‌توانند عملیات تمیز کردن در حین کار را فراهم نموده و سبب کاهش تعمیرات و حفظ دوره بهره‌وری بهینه شوند. به‌طور مرسوم این سیستمها شامل جتهای هوای فشرده و یا بخار با سرعت بالا می‌باشند، اما پیشرفتهای اخیر، واحدهای مادون صوت^۱ و مافوق صوت^۲ را نیز فراهم کرده است.

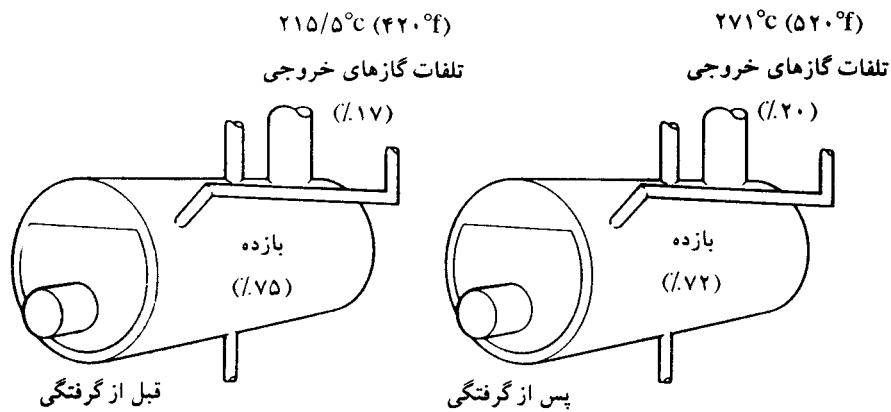
مثال برای نشان دادن اثر گرفتگی سطوح انتقال‌دهنده حرارت

یک افزایش دمای 56°C تا 271°C (520°F) در گازهای خروجی شامل $10/6\%$ گاز CO_2 ، سبب افزایش تلفات گازهای خروجی به میزان 20% خواهد شد. برای دیگ بخار نمونه، این امر سبب کاهش بازده به میزان 3% می‌شود که بنوبه خود هزینه اضافی زیر را در بر خواهد داشت:

$$300,000 \times \frac{72-75}{72} = 12,500 \text{ پوند در سال}$$

¹ Infrasonic

² Ultrasonic



هزینه اضافی معادل ۱۲۵۰۰ پوند در سال

شکل ۶: کاهش بازده مربوط به تغییر دمای گازهای خروجی

• سیستم‌های صرفه‌جویی‌کننده (اکنومایزرها)^۱

درجه حرارت گازهای خروجی دیگ‌های بخار پوسته‌ای سه مسیره مدرن^۲ معمولاً آنقدر پائین می‌باشد که نصب سیستم‌های اکنومایزر را توجیه نمی‌نماید. درجه حرارت‌های فوق‌العاده پائین در قسمت عقب می‌تواند منجر به زیان‌هایی به دیگ بخار، مسیرهای خروجی و دودکشها شود.

دیگ‌های بخار قدیمی‌تر، بعنوان مثال دیگ‌های بخار لانکاشایر (Lancashire)، دارای بازده نسبتاً کمی می‌باشند. گازهای خروجی باید دارای دمای نسبتاً بالایی باشند که عبور از طریق اکنومایزرها به منظور گرم کردن آب تغذیه را توجیه نماید. در این حالت نیز باید قبل از نصب اکنومایزر دقت شود که با نصب آنها درجه حرارت سطوح فلزی تا حد دمای نقطه شبنم اسید^۳ کاهش پیدا نکند، زیرا در این صورت این امر باعث خوردگی خواهد شد. توصیه‌های سازنده‌ها برای یافتن این درجه حرارت باید مورد کاوش قرار گیرد. یک سیستم اکنومایزر مناسب برای یک دیگ بخار لانکاشایر سبب ۱۰٪ صرفه‌جویی در میزان سوخت می‌شود که هزینه‌ی مربوط به آن بدینوسیله در مدت ۱۲ ماه جبران می‌گردد.

سیستم‌های تأخیردهنده که در مسیرهای دود دیگ‌های بخار اقتصادی دو مسیره^۴ قرار می‌گیرند نیز می‌توانند سبب صرفه‌جویی بمیزان ۱۰٪ در مصرف سوخت گردند.

^۱ Economisers

^۲ Modern three – pass wet back packaged shell boilers

^۳ Acid dewpoint

^۴ Two pass economic boilers

• دمپره‌های گازهای خروجی^۱

ممکن است در بعضی موارد، استفاده از دمپره‌های مجزا کننده گازهای خروجی بعضی از دیگ‌های بخار اقتصادی باشد. برای تخمین میزان صرفه‌جویی، باید ترکیب زمان‌بندی کار دیگ بخار و شرایط گازهای خروجی مورد بررسی قرار گرفته و با سازنده‌ها مشورت شود.

۵ - ۳ - تلف تشعشعی

تلف تشعشعی به تلف حرارتی از سطح دیگ بخار اطلاق می‌شود. هرچند بهتر است که از آن بعنوان تلفات تشعشعی و جابجایی^۲ (کنوکسیون) یاد شود، اما در این متن صرفاً از اصطلاح تلف تشعشعی برای آن استفاده خواهیم کرد.

تلف تشعشعی در دیگ‌های بخار مدرن می‌تواند چیزی در حدود ۱٪ یا کمتر از حرارت ورودی به سیستم، در شرایط کار نامی باشد. با اینحال در مورد دیگ‌های بخار قدیمی این میزان می‌تواند بسیار بیشتر باشد و در مواردی که عایق‌بندی ضعیف و طرح دیگ قدیمی می‌باشد ممکن است تا میزان ۱۰٪ افزایش یابد. تلفات تشعشعی یک دیگ بخار بسادگی قابل اندازه‌گیری نمی‌باشد، با اینحال، تجربه نشان داده است که برای طرح‌های سنتی و متداول، این تلفات در محدوده خاصی قرار می‌گیرد. این محدوده‌ها در مرجع BS 845:1987 ارائه شده است.

دیگر تلفات عمده که در بخش تلفات تشعشعی در این کتابچه دسته‌بندی شده‌اند، تلفات مربوط به گازهای نسوخته (عمدتاً منواکسیدکربن) موجود در گازهای خروجی، کربن نسوخته و گرمای محسوس خاکستر می‌باشد.

تلفات تشعشعی در هنگامی که دیگ بخار روشن است، ثابت می‌باشد و در نتیجه اگر بار دیگ بخار کم باشد، این تلفات بخش عمده‌تری از کل سوخت را در مقایسه با زمانی که دیگ بخار در شرایط بار حداکثر می‌باشد، دارا خواهد بود.

مثال: تأثیر بهره‌برداری از دیگ بخار در بار جزئی

اگر بار دیگ بخار مورد مثال توسط دو دیگ بخار مشابه که هر کدام در نصف بار نامی کار می‌کنند تأمین شود و اگر تلف تشعشعی ۲٪، در شرایط بار کامل باشد، در شرایط ذکر شده در این مسئله، تلف مزبور دو برابر یعنی ۴٪ خواهد بود. این امر سبب هزینه اضافی بمیزان ۶۰۰۰ پوند (۲٪ از ۳۰۰۰۰۰ پوند) در مصرف سالیانه سوخت، در مقایسه با حالتی که یک دیگ بخار در شرایط بار کامل می‌باشد، خواهد شد.

¹ Flue dampers

² Convection

۶ - ۳ - زمان بندی احتراق

مقدار و نمودار تغییرات بخار مورد نیاز یک تأسیسات در طول روز و هفته باید به طور پیوسته مورد مطالعه قرار گرفته و حداقل تعداد دیگ‌های بخار مورد استفاده قرار گیرند. در بعضی شرایط خاص، ممکن است افزایش تلفات به صورت موقت و یا کاهش تولید بخار در هنگامی که یک دیگ بخار ایراد دارد، برای حفظ بازده بهینه ارجح باشد. یک ارزیابی نیز باید از زمان مورد احتیاج برای داخل مدار کردن یک دیگ بخار که در حالت آماده^۱ است و نیز زمان لازم برای رفع عیب انجام شود.

شیرهای بخار که یک دیگ بخار را از بقیه سیستم جدا می‌کنند گاهی اوقات هنگام بسته بودن نیز بخار را از خود عبور می‌دهند، لذا باید مرتباً تعمیر شده تا از نشت بخار به دیگ‌های بخار آماده^۲ به کار جلوگیری شود. اگر دیگ بخاری بخواهد برای مدت طولانی در حال آماده باقی بماند، باید سیستمهای سدکننده، در فلانچ‌های^۳ کنار شیرها قرار داده شود.

۷ - ۳ - تخلیه^۳

لازم است بطور مرتب عمل تخلیه در دیگ بخار صورت پذیرد تا:

- گل و لای تشکیل شده از نمکهای رسوب یافته، برداشته و پاک شود.

- مانع پوسته شدن و تشکیل رسوب در لوله‌ها و کف لوله‌ها در سمت آب شود.

- از ایجاد کف و حرکت آن‌ها به سمت جریان اصلی بخار جلوگیری شود.

برای جلوگیری از تلفات غیرضروری حرارت، میزان تخلیه باید تا حد امکان مطابق با سطح رسوبات کلی در مقدار کمی حفظ شود. از تلفات حرارتی ناشی از تخلیه می‌توان برای مقاصد سودمندی همچون پیش‌گرمایش آب تغذیه استفاده نمود. نرخ تلفات حرارتی ناشی از تخلیه در شکل ۷ نشان داده شده است.

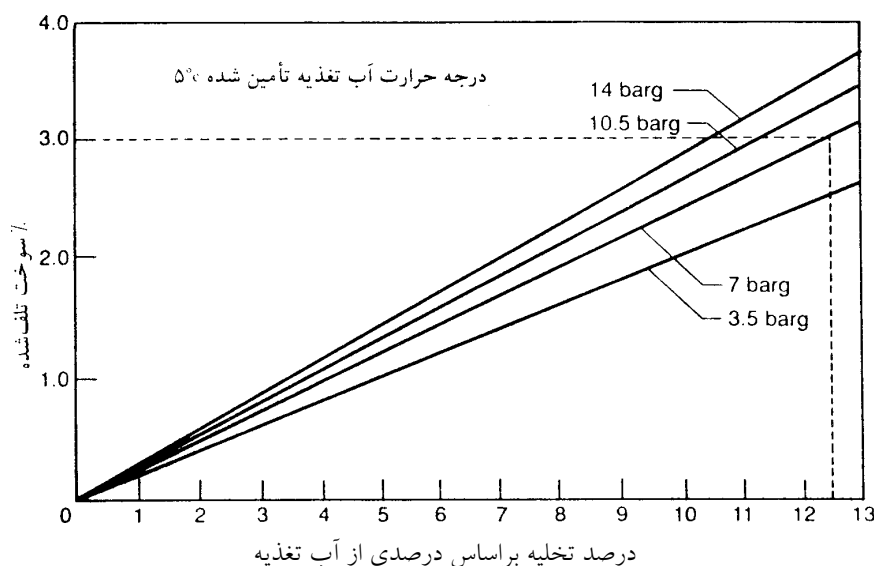
مثال

در دیگ بخار مورد مثال، تلفات تخلیه در حدود ۳٪ از تلفات دیگ بخار را شامل می‌شود. این بیانگر بیرون راندن تقریباً ۱۲/۵٪ بخار است که معادل ۱۲/۵٪ آب تغذیه خواهد بود و هزینه اتلاف سوخت بمیزان ۹۰۰۰ پوند در سال، به اضافه هزینه مربوط به قیمت تهیه آب و تصفیه آن را شامل می‌شود.

¹ Standby

² Flanges

³ Blowdown



شکل ۷: درصد تلف سوخت در تخلیه

جهت آشنایی با نحوه استفاده از منحنی، مثال بالا در شکل ۷ نشان داده شده است. هزینه زیاد تخلیه بخوبی ممکن است با صرفه‌جویی مربوط به سیستم بازیافت حرارت و تصفیه آب توجیه شود. اگر مایع حاصل از میعان در سطح کارخانه کلاً به چاه گرم^۱ برگشت داده شود، میزان تخلیه می‌تواند به مقدار زیادی کاهش یابد. هنگامی که بیش از یک دیگ بخار در حال کار باشد، بهتر است که زمان تخلیه را به طور اتوماتیک چنان تنظیم کنیم که میزان تلفات حرارتی قابل دسترس بصورت یکنواخت‌تری در طول زمان پخش شود. این امر سبب خواهد شد تا بازیافت انرژی تلفات به صورت اقتصادی‌تر انجام گیرد، زیرا تجهیزات مورد نیاز برای این منظور کوچکتر بوده و مدت زمان طولانی‌تری در حال کار خواهند بود و در نتیجه هزینه کمتر خواهد شد. یکی از ساده‌ترین روش‌های بازیافت گرمای حاصل از تخلیه، استفاده مستقیم از فلاش بخار^۲ است که در اثر تبخیر ناشی از افت ناگهانی فشار در داخل شیرهای مربوط به تخلیه ایجاد می‌شود. این بخار آب خالص فاقد هرگونه ذرات نامحلول می‌باشد و بنابراین می‌تواند مستقیماً به آب تغذیه دیگ بخار اضافه شود. بازیافت حرارتی بیشتری نیز با نصب مبدل حرارتی در مسیر آب تغذیه دیگ بخار میسر می‌باشد. (کتابچه‌ای تحت عنوان «بخار»، این موضوع را با جزئیات بیشتری توضیح می‌دهد).

۸-۳ - تصفیه آب

تصفیه شیمیایی آب لازم است تا:

- از تشکیل رسوبات در دیگ بخار و تجهیزات کمکی که منجر به افزایش دمای گازهای خروجی و کاهش بازده دیگ بخار می‌شود، جلوگیری بعمل آید. (کتابچه‌ای تحت عنوان «بخار» مثالهایی از تأثیر تشکیل رسوبات بر روی انتقال گرما را در اختیار قرار می‌دهد).

¹ Hot Well

² Flash Steam

- میزان گل و لای و تشکیل رسوب در داخل دیگ بخار کنترل شود و به طبع آن میزان تخلیه کاهش یابد.
 - خوردگی دیگ بخار و تأسیسات بخار (در اثر دی‌اکسیدکربن موجود در بخار) که منجر به افزایش هزینه‌های نگهداری می‌شود، کاهش یابد.
 - از آلودگی بخار توسط آب دیگ بخار که در اثر تشکیل توده‌های کفی شکل ایجاد می‌شود اجتناب گردد.
 - خوردگی مربوط به اکسیژن محلول در آب تغذیه کمترین مقدار را داشته باشد. برای تصفیه کافی و مناسب آب، باید با متخصصین ماهر تصفیه آب مشورت شود.
- با اطمینان از این موضوع که سیستم‌های عمل‌کننده بدون کنترل نمی‌باشند و بوسیله بستن پمپ‌های آب تصفیه هنگامی که دیگ‌های بخار در حال کار نمی‌باشند، از تغذیه آب بیش از مقدار مورد لزوم به داخل دیگ بخار جلوگیری می‌شود. در حالت ایده‌آل تجهیزات تغذیه دیگ بخار باید بوسیله عملکرد پمپ آب تغذیه کنترل شده و تسهیلات تصفیه آب متناسب با نیازهای سیستم باشد. برای اطمینان از این امر، علاوه بر نظرخواهی از مؤسسات تصفیه آب، باید از سازندگان سیستم و مؤسسات بیمه نیز نظرخواهی شود. ارزانترین روش و انتخاب، الزاماً بهترین خرید نمی‌باشد. دیگ بخار نباید بعنوان یک ظرف برای رسوبات شیمیایی مورد استفاده قرار گیرد، بلکه این سیستم منحصراً برای تولید بخار خشک طراحی شده است.
- چنانچه کیفیت تصفیه آب بهبود یابد و یا بخشی از آب حاصل از میعان که برگشت داده می‌شود افزایش یابد، میزان تخلیه مورد نیاز کاهش خواهد یافت.
- میزان کل جامدات محلول در آب بوسیله اندازه‌گیری چگالی آب (توسط هیدرومتر^۱ مخصوص) و نیز اندازه‌گیری دمای آن تعیین می‌شود. کیت‌های مربوط به تست و آزمایش آب دیگ‌های بخار ارزان هستند و استفاده از آنها نسبتاً آسان می‌باشد و می‌شود آنها را توسط یک متخصص تصفیه آب خریداری نمود.
- توصیه‌های تفصیلی در مورد تصفیه آب را می‌توان در مرجع BS 2486:1978 تحت عنوان «توصیه‌هایی در مورد تصفیه آب برای دیگ‌های بخار» پیدا نمود.

۹ - ۳ - بازیافت مایع حاصل از میعان

چنانچه دمای آب تغذیه پائین باشد، دلیلش را باید پیدا نمود. این می‌تواند به علت:

- پائین بودن نرخ مایع برگشتی حاصل از میعان
- عدم وجود عایق و ایزولاسیون دور لوله‌های مایع برگشتی حاصل از میعان (هرچند این مسئله در مورد سیستم‌هایی که منحصراً برای گرمایش فضا بکار می‌روند ممکن است مهم نباشد).
- تلفات مربوط به منبع آب تغذیه ناشی از تلف حرارتی جداره‌ها و یا از طریق سرریز آب.

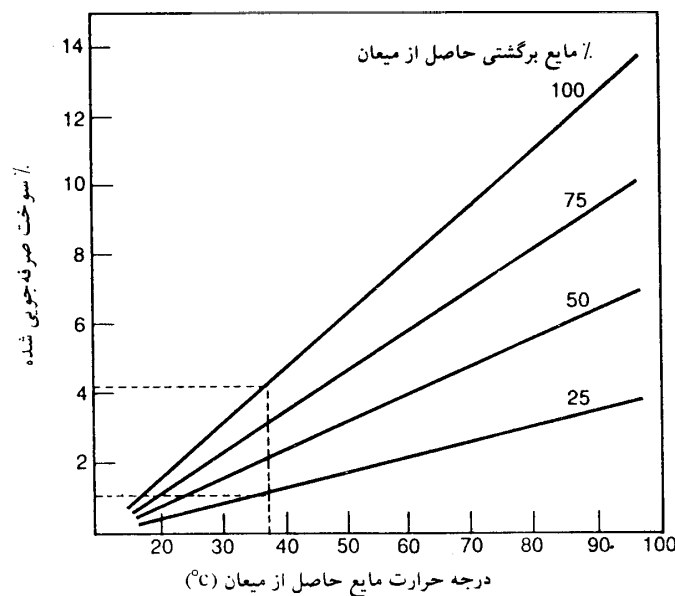
¹ Hydrometer

هنگامی که احتمال آلوده شدن مایع اشباع وجود ندارد، از نظر اقتصادی برگشت هرچه بیشتر مایع حاصل از میعان بهتر است. این امر سبب صرفه‌جویی در گرما، تهیه آب و همه مواد شیمیایی که در تصفیه آن بکار می‌رود و نیز کاهش تلفات تخلیه خواهد شد. صرفه‌جویی‌های ممکن در سوخت بعلت افزایش میزان مایع برگشتی حاصل از میعان در شکل ۸ نشان داده شده است.

هنگامی که خطر آلودگی آب تغذیه وجود دارد، دور ریختن و استفاده نکردن مایع مزبور با کمک اندازه‌گیری هدایت الکتریکی محلول بسیار معمول است. سیستمهای اندازه‌گیری و نظارت باید چنان باشند که فقط بخشی از مایع آلوده و نه کل آن دور ریخته شود. در تأسیسات بزرگ که دارای چند مجموعه می‌باشند، ممکن است نظارت بر مایع حاصل از میعان و دور ریختن محلول آلوده برای هر سیستم بطور مستقل و جداگانه ضروری باشد. بدون برنامه‌ریزی و تدبیر ویژه بندرت استفاده از آب تغذیه با درجه حرارت بیش از 82°C (180°F) ممکن می‌باشد که این به علت مسائل مربوط به پدیده حفره‌زائی^۱ در پمپ تغذیه خواهد بود. هر چند بعد از پمپ، اگر اکونومایزر بکار رفته باشد، دما می‌تواند بالاتر از مقدار فوق‌الذکر هم باشد. در مواردی که تردید در این مورد وجود داشته باشد، باید با سازنده دیگ بخار یا پمپ تغذیه مشورت گردد. یک بخش از کتابچه‌ای تحت عنوان «بخار»، درباره تکنیکهای بازیافت حرارت می‌باشد که این موضوع را با جزئیات دقیق‌تری مورد بحث قرار می‌دهد.

مثال درباره صرفه‌جویی‌های ممکن ناشی از افزایش مایع برگشتی حاصل از میعان

چنانچه دمای آب تغذیه را بتوان با افزایش مقدار مایع برگشتی از ۲۵٪ به ۱۰۰٪، چنان افزایش دهیم که درجه حرارت مربوطه از 17°C ($62/5^{\circ}\text{F}$) به 38°C (100°F) برسد، صرفه‌جویی در سوخت دیگ بخار به مقدار ۳/۳٪ حاصل خواهد شد. در دیگ بخار مورد مثال، این صرفه‌جویی بمیزان ۹۹۰۰ پوند در سال خواهد بود (به شکل ۹ توجه کنید). صرفه‌جوییهای بیشتری نیز در اثر کاهش تلفات تخلیه حاصل خواهد گردید.



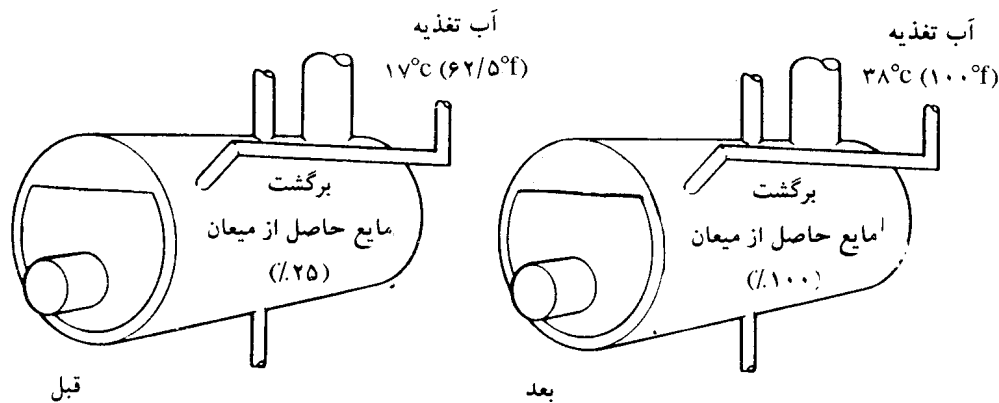
شکل ۸: صرفه‌جویی سوخت توسط مایع برگشتی حاصل از میعان

¹ Cavitation

۱۰ - ۳ - سرویسهای بخار و آب گرم

• تأمین بخار

از دیگ‌های بخار بخار نباید در فشار کمتر از حداقل توصیه شده توسط سازنده بهره‌برداری نمود. اگر تجهیزات مصرف‌کننده بخار، به بخار با فشار فوق‌العاده کمتر از مقدار فوق نیاز داشته باشند، باید تغییر قدرت دیگ بخار و یا تعویض آن مورد بررسی قرار گیرد. از طرفی در دیگ‌های بخار مخصوص توربینهای بخار مولدهای برق، بخار با فشار زیاد می‌تواند بکار رود. این امر تلفات حرارتی مربوط به توزیع را به حداقل خواهند رساند.



صرفه‌جویی معادل ۹۹۰۰ پوند در سال

شکل ۹: تغییر در هزینه بهره‌برداری بعثت افزایش مایع برگشتی حاصل از میعان

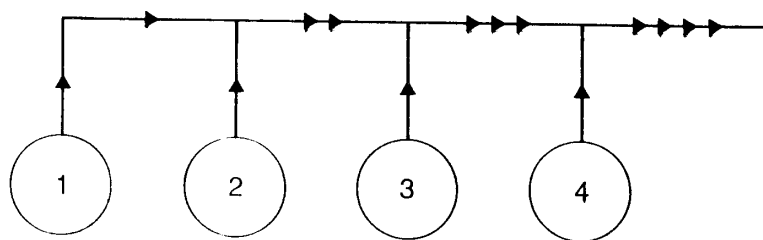
افت فشار بخار در طول لوله‌های بخار تا محل مصرف باید تست شود، تا بتوان فشار بهینه را تعیین نمود.

• اتصالات خروجی‌های بخار در تأسیسات دیگ بخار

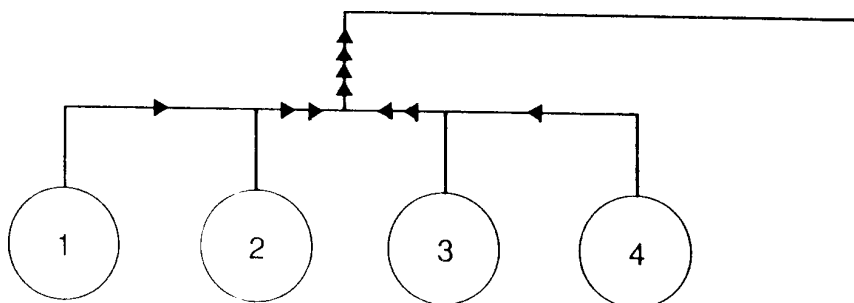
هنگامی که بیش از دو دیگ بخار دارای بخار خروجی مشترک باشند و خروجی آنها بهم متصل باشد، درستی نحوه اتصال دارای اهمیت می‌باشد. شکل ۱۰ روشهای اتصال صحیح و ناصحیح را به خروجی مشترک برای چهار دیگ بخار نشان می‌دهد.

نحوه ارتباط ناصحیح می‌تواند سبب وقوع پیامدهایی شود که متعاقباً ذکر می‌گردد. یک یا چند دیگ بخار ممکن است با تقاضای تأمین بخار بیشتری تا حدود ۲۵٪ روبرو شوند، بعنوان مثال دیگ‌های بخار ۳ و ۴ در شکل ۱۰ - الف. بعثت محدود بودن گرمای ورودی، این افزایش تقاضا در دیگ‌های بخار، سبب افت فشار خواهد گردید، که این امر خود سبب افزایش مخلوط بخار و آب در داخل دیگ بخار خواهد شد، که باعث تشکیل کف می‌شود. در شرایط حاد، این مسئله می‌تواند سبب تلفات آب دیگ‌های بخار شود که بالطبع ایجاد مشکل برای دیگ بخار بعثت کمبود آب خواهد کرد، زیرا دیگ‌های بخار باقیمانده مسئول بر دوش کشیدن همه بار خواهند بود. این امر بطور زنجیروار سبب اضافه بار روی دیگ‌های بخار باقیمانده و ایجاد مشکل و از کار افتادن تمام

دیگ‌های بخار در زمانی خواهد شد که به همه آنها نیاز می‌باشد. این مسئله بعلت افت فشار در طول خروجی مشترک بخار^۱ می‌باشد، که متناسب با مجذور جریان بخار افزایش می‌یابد.



الف) روش اتصال ناصحیح دیگ‌های بخار به یک سیستم توزیع که سبب افزایش تقاضای بیشتری روی دیگ‌های بخار ۳ و ۴ می‌شود.



ب) روش اتصال صحیح دیگ‌های بخار به یک سیستم توزیع که سبب می‌شود تقاضای روی دیگ‌های مختلف متعادل گردند.

شکل ۱۰: روش‌های اتصال دیگ‌های بخار به یک سیستم توزیع

در شکل ۱۰ - الف، فشار در خروجی مشترک بخار از نقطه اتصال دیگ شماره ۱ تا دیگ‌های ۳ و ۴، همانطور که خروجی دیگ‌ها یکی پس از دیگری به خروجی مشترک متصل می‌گردند، شدیداً کاهش می‌یابد. این امر می‌تواند سبب اضافه بار شدید در دیگ‌های ۳ و ۴ گردد. تفاوت فشار و در نتیجه تفاوت بارگذاری روی دیگ‌های ۱ و ۲ کم و بیش چیزی در حدود ۰.۵٪ خواهد بود، که تجهیزات احتراق قادرند این مقدار را جبران سازند. برای جلوگیری از تفاوت بارگذاری بیشتر و بالطبع مشکلات ناشی از آن، همانطور که در شکل ۱۰ - ب دیده می‌شود، بیش از دو دیگ در امتداد هم نباید به خروجی مشترک متصل گردند.

در بسیاری از تأسیسات، دیگ‌ها بطور ناصحیح به سیستم توزیع مشترک بخار متصل شده‌اند که این امر به مشکلاتی مشابه آنچه که در بالا توضیح داده شده منجر می‌شود. کار با ارزشی خواهد بود اگر اتصالات مربوطه را جهت غلبه بر این مشکلات تغییر دهیم. بعنوان یک راه‌حل موقت، خروجی تمام دیگ‌های بخار را می‌توان به

¹ Header

صفحات فلزی مشبک^۱ مجهز نمود. این صفحات چنان طراحی شده‌اند که در حالت بار کامل، فشار بمیزان ۳ اتمسفر (bar) افت می‌کند.

مسائل مربوط به بار گذاری می‌تواند در تمامی دیگ‌ها، صرفنظر از اینکه سوخت بکار برده شده چه باشد، اتفاق بیفتد و چنانچه برای رفع آن اقدامی نشود، می‌تواند روی قابلیت اطمینان و بازده کل سیستم بخار و کل تأسیسات تأثیر جدی داشته باشد.

• لوله‌کشی

تمام لوله‌ها و شیرهای مخصوص رساندن بخار و مایع حاصل از میعان باید بطور مناسب دنبال هم قرار گیرند و مکان نفوذ هوا به آنها وجود نداشته باشد، مگر در مواردی که آنها منحصراً بخشی از یک سیستم حرارتی کنترل شده باشند. همچنین سیستم تأمین بخار باید هنگامی که نیازی به گرمایش نیست، خاموش شود. عایق‌کاری لوله‌های با قطر زیاد در حدود چند هفته و این عمل در مورد لوله‌های کوچکتر چندین ماه وقت می‌گیرد. غالباً در تأسیسات قدیمی‌تر، شیرهای بخار و فلانچ‌ها بطور مناسب دنبال هم قرار نگرفته‌اند که این امر چندان اقتصادی نمی‌باشد.

باید عایق‌کاری‌ها به طور مرتب مورد ارزیابی و آزمایش واقع شده و هنگامی که لازم باشد فوراً تعویض گردند، بخصوص برای لوله‌ها و تجهیزاتی که باید تعمیر و یا جایگزین شوند. ضخامت مناسب و اقتصادی برای عایق‌ها هنگام تعویض باید مجدداً مورد ارزیابی قرار گیرد، برخی از پیمانکاران و تأمین‌کنندگان تجهیزات هنوز هم ممکن است ضخامتهای اقتصادی و مناسب را در نظر نگیرند. اطلاعات بیشتر در این مورد را می‌توان در کتابچه‌ای تحت عنوان «ضخامت اقتصادی عایق‌ها برای لوله‌های گرم» یافت.

هنگامی که ممکن است حفره‌زائی ناشی از افزایش درجه حرارت بدلیل افت مربوط به لوله‌های آب تغذیه پیش آید، می‌بایست فشار کافی در سمت مکش پمپ تغذیه دیگ وجود داشته باشد.

مثال مربوط به تأثیر عایق‌بندی

در دیگ بخار مورد مثال، ۳۰ متر (۱۰۰ فوت) از یک لوله ۸۰ میلیمتری (سه اینچی) که بخار با فشار ۷ barg (۱۰۰ psig) و با دمای ۱۷۰°C (۳۳۸°F) را حمل می‌کند بعلاوه عایق‌بندی، حرارتی معادل ۱۸۷۵ پوند در سال را از دست می‌دهد.

یک شیر عایق‌بندی نشده معادل ۱ متر (۳ فوت) لوله عایق‌بندی نشده است، در فشار ۷ barg (۱۰۰ psig) یک شیر ۸۰ میلیمتری (۳ اینچی) حرارتی معادل ۵۶ پوند در سال را از دست خواهد داد. یک فلانچ عایق‌بندی نشده نصف این مقدار را از دست می‌دهد.

¹ Orifice Plate

۴ - لیستی از روش‌های صرفه‌جویی هزینه

- ۱ - مقدار بخار خروجی دیگ‌های بخار را مستقیماً بکمک یک بخارسنج و یا بطور غیرمستقیم با اندازه‌گیری مقدار کل آب تغذیه و تخمین تخلیه اندازه‌گیری نمائید. نسبت بخار بر سوخت بهترین معیار سنجش بازده دیگ می‌باشد و باید در سطحی سازگار با تجارب خوب نگهداشته شود.
- ۲ - به‌طور پیوسته از عملکرد دیگ بخار صورت‌برداری نموده و گزارش تهیه کنید. بدینصورت علائم خرابی خیلی زود آشکار شده و قادر خواهید بود تعمیرات لازم را بموقع انجام دهید. نمونه‌هایی از برگه‌های ثبت روزانه و هفتگی برای دیگ‌های بخار و آب گرم در تصاویر ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۴ نشان داده شده‌اند.
- ۳ - آب تغذیه را اندازه‌گیری نمایید.
- ۴ - دستگاه اندازه‌گیری بخار را گهگاه بازرسی نمائید، زیرا عملکرد آنها بعلت گرفتگی سوراخهای سیستمهای اندازه‌گیری یا پیتوت^۱ دستگاه اندازه‌گیر سرعت سیال، تغییر می‌کند. سیستمهای اندازه‌گیری بخار، مقادیر درست را فقط در شرایط فشاری که برای آن کالیبره شده‌اند در اختیار قرار می‌دهند. اگر فشار بخار تغییر کند، کالیبراسیون مجدد برای دستگاههای اندازه‌گیری لازم است تا حجم بخار، به صورت دقیق قرائت گردد.
- ۵ - خط لوله‌هایی را که بکار نمی‌روند از بقیه سیستم ایزوله نموده و لوله‌های اضافی را باز نمائید. این عمل مرتباً باید بررسی گردد مخصوصاً در مواردی که لوله‌کشی‌های در حال کار مرتباً تغییر می‌کنند.
- ۶ - مطمئن شوید که حسابداری انرژی ورودی و خروجی در سیستم دیگ‌های بخار حتی‌المقدور واقعی باشد، همچنین آمار سوخت ذخیره باید دقیق باشد.
- ۷ - مراحل مربوط به تمیزکاری و خدمات دیگ‌های بخار را بهبود دهید، زیرا این امور سبب بهبود شرایط کاری و بهبود روحیه کاری افراد می‌شود.
- ۸ - مراحل تعمیر و نگهداری دیگ بخار را مورد بازبینی قرار دهید. بخصوص برای مواردی که این مراحل روی تجهیزات احتراق، کنترلها و وسایل ابزار دقیق اثر می‌گذارند، باید یک برنامه مرتب برای تمیز کردن سطوح دیگ بخار که مخصوص انتقال حرارت هستند و نیز مسیرهای مخصوصی دود وجود داشته باشد. هر کدام از وسایل ابزار دقیق مفید و یا تجهیزاتی که از آنها استفاده نمی‌شود، همچون دستگاههای اندازه‌گیری آب، نشانگرهای دما، ثباتها و اکونومایزرها (در صورت لزوم)، باید تعمیر شوند و مجدداً مورد استفاده قرار گیرند.
- ۹ - بصورت ادواری و مرتب، شرایط و موقعیت قسمتهای آجری کوره و مسیر گازهای خروجی را مورد بررسی قرار دهید. در دیگ‌های بخار نصب شده قدیمی، مسیرهای زیرزمینی گازهای خروجی باید از نظر نشت آب بداخل آنها مورد ارزیابی قرار گیرد.
- ۱۰ - در نشتی‌های بخار را بدون تأخیر تعمیر کنید. این چنین نشتی‌هایی نه تنها باعث تلف انرژی می‌گردند بلکه بالقوه خطرناک نیز می‌باشند.

¹ Pitot

۱۱ - به اپراتورهای دیگ‌های بخار رسیدگی و توجه خاص مبذول دارید. مطمئن شوید که با مراحل بهره‌برداری صحیح آشنا هستند. برای آنها دوره‌های آموزشی و درسی خاصی وجود دارد که اجرای آن یک سرمایه‌گذاری با ارزش محسوب شود.

۱۲ - احتمال بکارگیری سیستم‌های بازیافت حرارت را ارزیابی نمایید.

تاریخ	واحد											شماره دیگ بخار	زمان									
	هوا				سخت				بازرسی های ضروری					گازهای خروجی				آب			بخار	
	دمای برودن (%)	خاکستر (کیلوگرم)	دمای سبیل برگشتی (%)	دمای سبیل (%)	میزان گشتی (kg/hr)	میزان سبیل (با لیتر)	شمار در خروجی دیگ بخار (bar)	شمار امان استروئیل (bar)	CO ₂ یا O ₂ (%)	دمای خروجی اگونیومایز (%)	دمای خروجی دیگ بخار (%)			آب تاآمین شده (لیتر)	آب نطفه (لیتر)	دمای ورودی دیگ بخار (%)	دمای ورودی اگونیومایز (%)	دما (°C)	شمار (bar)	جمع	مداد دریا	بسی

شکل ۱۱: نمونه برگ گزارش عملیات روزانه برای دیگ‌های بخار

هفته‌ای که آغاز می‌شود							واحد
تاریخ:	سوغت مصرف شده (کیلوگرم)	خاکستر (کیلوگرم یا %)	کل آب در گردش (کیلوگرم)	متوسط اختلاف دما (°C)	کل حرارت خروجی (کیلوژول)	حرارت خروجی به ازاء یک کیلوگرم و با مترمکعب از سوخت (کیلوژول)	آب تأمین شده (٪ از کل)
تذکرات	ساعات بهره‌برداری						
	جمع						
	تعداد ازانها						
	میانگین						
<p>مقدار کل سوخت مصرف شده: Kg به قیمت £/Kg</p> <p>..... لیتر به قیمت پوند بر لیتر</p> <p>(اصلاح شده بر مبنای دما ۲۰°C) (با پوند بر مترمکعب)</p> <p>هزینه‌های کل سوخت هفتگی پوند</p> <p>هزینه‌های سوخت به ازاء یک مگاژول پوند</p> <p>توضیحات خلاصه هفتگی</p>							

شکل ۱۴: نمونه برگ خلاصه وضعیت هفتگی برای دیگ‌های آب گرم