جمهوری اسلامی ایران
وزارت نیرو
امور انرژی

راهنماهای فنی مدیریت انرژی

۱۱

استفاده اقتصادی از دیگهای بخار با سوخت گاز

دفتر بهینه سازی مصرف انرژی

بسم الله الرحمن الرحيم

پیشگفتار

در طی دهۀ آینده، هـزینـۀ انرژی الکتریکی چه برای گرمایش و سـرمایش، چـه برای روشنائی و چه بـعنوان نـیروی مـحرکه در فـرآیـند تـولید صنعتی، ادارات، مدارس، منازل، ... رشد چشمگیری پیدا خواهد کرد که البته دلایل این رشـد، خارج از بحث این نوشتار است.

در عرصۀ رقابت جهانی در راستای مصرف کمتر (مصرف بهینه) و تولیـد هرچه بیشتر، کشورها، جوامع و صنایعی موفق‌تر خواهند بود که در این رقابت که شـاید از دیـدگاهی بـتوان آن را مـبارزه بـرای تـنازع بـقاء و ادامـۀ فـعالیت نـامید، بـا تحقیقات و مطالعات موفق به یافتن و پس از آن بکار بـردن راهـهای جـلوگیری از اتلاف انرژی شوند .

انرژی بطور عام و انرژی الکتریکی بطور خاص که امروز در اختیار و خـدمت هـم میهنان عزیز، قرار می‌گیرد، با هزینه‌ای به مراتب گزاف‌تر تهیه می‌شود ولیکن دولت جمهوری اسلامی ایران با تأمـین بـخشی از هـزینه‌های تـولید آن از مـحل درآمـدهای عـمومی خود و یا به قیمـت عدم انجام بسیاری از پروژه‌های زیـربنائی ملی، آنرا بدینگونه در اختیار وا می‌گذارد.

اتلاف این انرژی الکتریکی و اصولاً هر نوع انرژی تولید شده از مـنابع فسـیلی، علاوه بر خسارات مالی جبران‌ناپذیری که دارد، زیانها ی غیرقابل انکـاری نـیز بـر محیط زیست ملی ما و جهان وارد خواهد آورد.

اکنون سالیان متمادی از زمانی می‌گذرد که کشورهای پیشرفته که حتی برخی از آنها از حداکثر امکانات طبیعی و صنعتی برای تولید انرژی برخوردارند، در کـنار تلاش در جهت استفاده از انرژی‌هـای نو (خورشید، باد، امواج، ...)، استفاده صحیح از انرژی را در رأس اهـم اهـداف خـود قـرار داده و صـاحبان صـنایع، صـنعتگران، مـدیران 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، راهنمائی و حتی راهبری در جهت جلوگیری از اتلاف انرژی می‌نمایند.

انجام پاره‌ای از این اقدامات، اگر در زمان مناسب نسبت به اِعمال آنها اقـدام گردد، حتی هیچگونه هزینۀ اضافی را نیز تحمیل نخواهد نمود و جهت همه‌گیر شدن جنبش جلوگیری از اتلاف انرژی، دائماً جلسات توجیهی و سمینارهائی برای تصمیم گیرندگان برگزار می‌گردد تا از پی‌آمدها و بهتر بگوئیم عواقب مـختلف آن آگاه گردند.

در کنار اقدامات فوق، تلاش متخصصین و دانشمندان در جهت اختراع، ابداع و تولید وسایل و تجهیزات کارآمد نیز جبهۀ دیگری است که برای مبارزه بـا اتـــلاف انرژی گشوده شده است که از جمله آنها می‌توان بـه تـولید صـنعتی تـجهیزات و لامپهای پر انرژی، کم مصرف و بادوام اشاره کرد.

با توجه به روند افزایش جمعیت و تبعات آن و هرجه بیشـتر مـسـتهلک شـدن منابع تولید انرژی، چندان دور نخواهـد بود که نه تنها افراد، بلکه جوامع نیز درموقعـیتی قرار نداشته باشند که بتوانند بـه میزان مورد علاقۀ خـود انرژی مـصرف نمایند بلکه با هرچه فشرده‌تر شـدن جـوامع، حـتماً اهـرمهای مـلی و جـهانی و خود

محدودکننده‌ای وارد عـمل خواهند گردیـد که ابتکار عمـل در زمینهٔ تـولیـد و مصرف انرژی را بعـهده خواهـند گرفت.

علیرغـم اینکه کاربرد بـعضی از اقدامات صرفه‌جویانه (یا بهتر است گفـته شـود استفاده صحیح و جلوگیری کننده از اتلاف بیهوده)، نیاز به مقـداری سرمایه‌گذاری اولیه دارند که البـته میزان آن بستگی به دامنه و وسعت اقدامات بعـمل آمده دارد، ولی نکته‌ای که مبرهن و غیرقابل انکار می‌باشد آن اسـت که این سرمایه‌گذاری اولیه در مدت کوتاهی خودبخود مستهلک می‌گردد.

علاوه بر نشست‌ها و سمینارهائی که به آنها اشاره گردید تشکیلات گوناگونی که در کشورهای مختلف جهان جهت سامان دادن به مشکـل انـرژی و آگـاه کـردن قشرهای مختلف جامعه ایـجاد شـده‌انـد، اقـدام بـــه نشـر جـزوات، بـروشورها و اطلاعیه‌هائی نموده و آنها را در دسترس کلیهٔ افرادی کـه بـه نـوعی بـا مـصرف و صرفه‌جوئی انرژی ارتباط دارند قرار می‌دهند.

در هـمـین راسـتا، معاونت انرژی وزارت نیرو نیز اقـدام به ترجمه و چاپ جزوه‌ای که ملاحظه می‌فرمائید نموده است که در کشور انگلستان و بتوسط "مرکز تحقیقـات ساختمان" ـ Building Research) (Establishment، " واحد صرفه‌جویی انرژی مرکز تحقیقات ساختمان" ـ Building Research Energy) (Conservation Support Unit "واحد پشتیبانی تکنولوژی انرژی" ـ Energy Technology Support) (Unit " اداره کارآئی 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 اسـت ولیکن امیدوار است که انشـاءا... چاپ‌های بعدی این جزوه و همچنین جزوات دیگری که در دست ترجمه و چاپ قرار دارند، براساس آمار و اطلاعـات کشور ایران تهیه شده و در اختیار شما قرار داده شوند.

معاونت انرژی وزارت نیرو

فهرست مطالب

۱ ـ مقدمه ٦
۲ ـ اطلاعات پایه‌ای ٦
۱ـ۲ـ تأمین گاز ٦
۲ـ۲ـ کنترل آلودگی ۷
۳ ـ عوامل ثاثیرگذار در استفاده موثر از انرژی ۷
۱ـ۳ـ دیگ بخار نمونه ۷
۲ـ۳ـ بازده حرارتی دیگ بخار ۸
۳ـ۳ـ تلفات گازهای خروجی ۹
٤ـ۳ـ تلفات تشعشعی ١٦
٥ـ۳ـ برنامه احتراق/کنترل ترکیبی دیگ‌های بخار ۱۷
٦ـ۳ـ کنترل متمرکز دیگ‌های بخار ۱۸
۷ـ۳ـ سیستم‌های کنترل دور متغیر برای فن‌های هوای احتراق ۱۸
۸ـ۳ـ پیش‌گرمایش هوای احتراق ۱۸
۹ـ۳ـ تخلیهٔ دیگ بخار ۱۹
۱۰ـ۳ـ تأمین آب تغذیه ۲۰
۱۱ـ۳ـ سرویسهای آب گرم و بخار ۲۲

۱ ـ مقدمه

دیگ‌های بخار و تحت فشار آب گرم در مراکز صنعتی و تجاری دارای ظرفیتهای متغیر از ۱۰۰ کیلووات تا بیش از ۳۰ مگاوات، (۳٤۱,۰۰۰ Btu/h تا بیش از ۱۰۲,۰۰۰,۰۰۰ Btu/h) می‌باشند. این جزوه عمدتاً به دیگ‌های بخار نوع پیوسته‌ای[1] یعنی آن دسته از دیگ‌های بخار که دارای ظرفیت متوسط می‌باشند می‌پردازد. امروزه هزاران دیگ بخار از این نوع در سیستم‌های گرمایش و فرآیندها مورد استفاده هستند. البته اکثر اطلاعات داده شده در این کتابچه برای انواع دیگر نیز کاربرد دارد.

این کتابچه روشهایی را که می‌توان توسط آنها در سوخت و در نتیجه هزینه بهره‌برداری دیگ‌های بخار صرفه‌جویی نمود ارائه می‌دهد. جهت رسیدن به هدف مذکور مطالعات از تحویل سوخت به دیگ بخار آغاز شده و تا خروج نهایی حرارت از دیگ بخار استمرار می‌یابد. در این راستا تلفات حرارتی مختلف شناخته شده و میزان این تلفات اندازه‌گیری می‌شود. در نهایت لیستی از روشهای صرفه‌جوئی هزینه بیان خواهد شد.

برای آنکه بتوان تصویر خوبی از صرفه‌جوئی‌ها ترسیم نمود، یک دیگ بخار نمونه با هزینه سوختی معادل ۲۸۵,۰۰۰ پوند در سال به عنوان مرجع در نظرگرفته می‌شود. واضح است که موارد استثنایی نیاز به مطالعات خاص خود را دارد، اما با این وصف امید است با درج یک نمونه کمی در این جزوه بتوان صرفه‌جوئیهای ممکنی را که استفاده‌کنندگان می‌توانند کسب کنند، نمایش داد.

بسیاری از دیگ‌های بخار با بازده کمتر از مقدار قابل کسب، بهره‌برداری و نگهداری می‌شوند. صرفه‌جویی در سوخت گاز بسیار ارزشمند است. این کتابچه شما را از چگونگی دستیابی به این صرفه‌جوئی‌ها آگاه می‌سازد.

۲ ـ اطلاعات پایه‌ای

۱ ـ ۲ ـ تأمین گاز

در نقاطی‌که گاز از طریق سیستم توزیع ملی تأمین می‌شود وظیفه مصرف‌کننده گاز از محل نصب تجهیزات اصلی اندازه‌گیری گاز به بعد، شروع می‌شود. در نقاطی که فشار گاز بعد از کنتورها تقویت می‌شود، هزینه‌های تعمیرات و بهره‌برداری تجهیزات تقویت‌کننده فشار گاز باید مورد ملاحظه قرار گیرند. در غیر اینصورت فقط هزینه‌های مربوط به تعمیرات لوله‌کشی‌ها را باید به حساب آورد.

اندازه‌گیری گاز مصرفی دیگ‌های بخار باید مدنظر قرار گیرد. اگر فقط یک دیگ بخاره مصرف‌کنندهٔ گاز باشد در آنصورت اندازه‌گیر اصلی گاز ورودی را می‌توان جهت نظارت بر مصرف روزانه یا هفتگی، مطابق با آنچه که مورد نیاز است، مورد استفاده قرار داد. اندازه‌گیر اصلی گاز همچنین می‌تواند جهت تعیین مصارف لحظه‌ای نیز مورد استفاده قرار گیرد. نصب دستگاههای اندازه‌گیری فرعی گاز در هنگامی که بیش از یک دیگ بخار نصب

[1] Shell Type

شده باشد ارجح است، زیرا آنها وسیله‌ای برای نظارت بر گاز مصرفی هر یک از دیگ‌های بخار به صورت جداگانه خواهند بود. بعلاوه قرائت‌های ثبت شده گاز مصرفی، تغییرات در مصرف گاز را نمایان کرده و در نتیجه تلفات سوخت را در ارتباط با کاهش بازده دیگ بخار و تلفات بخار آشکار می‌سازد.

سایر سوخت‌های گازی، برای مثال گاز پروپان، ممکن است به ذخیره‌سازی و امکانات تحویل‌دهی نیاز داشته و هزینه‌های دیگری را تحمیل نماید که نیاز به ارزیابی خاص خواهد داشت.

۲ ـ ۲ ـ کنترل آلودگی

صرفه‌جویی در انرژی را نباید به تنهایی مورد بررسی قرارداد و نباید به بهای افزایش تشعشعات آلوده‌کننده کسب شود.

بسته به ظرفیت، دیگ‌های بخار با مقررات ویژه هوای سالم[1] و دستورالعمل حفاظت محیط زیست[2] بررسی می‌گردند. دیگ‌های بخار با ظرفیت کمتر از ۲۰ مگاوات، تحت مقررات ویژه هوای سالم می‌باشند. در حالی که دیگ‌های بخار با ظرفیت بین ۲۰ الی ۵۰ مگاوات تحت پوشش مقررات بخش B. دستورالعمل حفاظت محیط زیست (EPA) قرار دارند. HMIP (اداره سلطنتی بازرسی آلودگی) درحال حاضر مسئولیت آلودگی ناشی از دیگ‌های بخار بزرگتر که سوخت ورودی آنها براساس ارزش حرارتی خالص، جمعاً متجاوز از ۵۰ مگاوات است را به عهده دارد. با اجرای دستورالعمل و مقررات حفاظت محیط زیست (EPA)، نیاز به روش BATNEES[3] (بهترین روش مرجود که مستلزم هزینه سنگین نیست) به جای بهترین روشهای قدیمی احساس می‌شود. در تعیین حدود گازهای آلوده‌کننده، HMIP هزینه نصب تجهیزات بیشتری جهت کاهش آلودگی را نیز به حساب می‌آورد. اگر این هزینه زیاد باشد، ممکن است کنترل اضافی نیاز نباشد.

۳ ـ عوامل تاثیرگذار در استفاده موثر از انرژی

۱ ـ ۳ ـ دیگ بخار نمونه

به منظور نمایش اهمیت صرفه‌جویی‌ها در بخشهای مختلف، یک دیگ بخار نمونه (شکل ۱) مورد استفاده قرارگرفته‌است.

بازده دیگ بخار ۷۵ درصد در نظرگرفته شده است بنحوی که پیشنهاداتی جهت بهبود بازده بتوان مطرح نمود. بدون شک بسیاری از دیگ‌های بخار هرگز به این سطح از عملکرد دست نخواهند یافت، اما از یک دیگ بخار نوع پوسته‌ای با طراحی جدید که بنحو مطلوبی بهره‌برداری شود می‌توان انتظار داشت که دارای بازده بیشتر از ۸۰ درصد در خروجی طراحی شده باشد. جزئیات مشخصات دیگ بخار نمونه بشرح زیر می‌باشد:

---

[1] Clean Air Regulations
[2] Environmental Protection Act
[3] Best Available Technique Not Entailing Excessive Expenditure

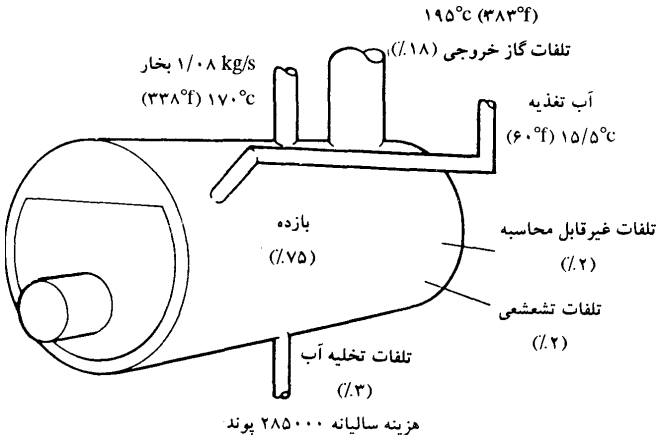
بازده دیگ بخار براساس ارزش حرارتی ناخالص:	
تلفات گازهای خروجی	٪۱۸
تلفات تشعشعی	٪۲
تلفات تخلیه آب دیگ بخار	٪۳
سایر تلفات	٪۲
بازده دیگ بخار	٪۷۵
دمای گاز خروجی	۱۹۵°c (۳۸۳°f)
دمای آب تغذیه به دیگ بخار	۱۵/۵°c (۶۰°f)
درجه حرارت مایع برگشتی	فرض کنید که درجه که درجه حرارت آب اصلی (۴۷°f) ۸°c و ۲۵۵ درصد آب برگشتی حاصل از میعان در ۳۸°c (۱۰۰°f) باشد.
تولید بخار (تقریباً)	۱/۰۸ kg/sec (۸۰۰۰ Ib/h) ۷۰۰۰ ساعت در سال
فشار بخار	۷ barg (۱۰۰ psing)
دمای بخار	۱۷۰°c (۳۳۸°f) (بخار خشک اشباع)
هزینه گاز	۲۸۵۰۰۰ پوند در هر سال با قیمت ۳۲ پنس برای هر واحد حرارتی

* برای دیگ بخاری که دارای خروجی پیوسته ۷۰۰۰ ساعت در سال است، ممکن است ارقام داده شده از نظر بهره‌برداری غیرواقعی می‌باشند. بهرحال جزئیات فوق‌الذکر برای تامین پایه‌ای ساده جهت مقایسه انتخاب شده‌اند.

۲ ـ ۳ ـ بازده حرارتی دیگ بخار

با بهره‌برداری از دیگ بخار در حداکثر بازده حرارتی، حداقل هزینه کسب می‌شود. این بخش، تلفات مختلف را بررسی نموده و توجه را به چگونگی حداقل کردن آنها جلب می‌نماید.

تلفات حرارتی دیگ بخار شامل: تلفات گازهای خروجی، تلفات از بخش خارجی دیگ بخار (تلفات ناشی از تخلیه آب دیگ بخار می‌باشد.



شکل ۱: دیگ بخار نمونه

تلفات مذکور را می‌توان در معادله اساسی زیر بیان نمود.

(٪ تلفات ناشی از تخلیه آب + ٪ تلفات تشعشعی + ٪ تلفات گاز خروجی) - ۱۰۰٪= ٪ بازده حرارتی دیگ بخار

در این کتابچه، محاسبات براساس ارزش حرارتی ناخالص سوخت است. هرجا که از محتوای حرارتی سوخت و یا بازده دیگ بخار صحبت می‌شود بسیار مهم است که روشن گردد مقادیر داده شده براساس کدامیک از ارزش حرارتی خالص و یا ناخالصی بیان شده‌اند. بنابراین درک این واژه‌ها مهم است.

کلیه سوخت‌ها حاوی مقداری هیدروژن می‌باشند که در هنگام سوختن تولید بخار آب می‌نمایند. گرمای نهان در بخار فقط از طریق میعان قابل دستیابی است. ارزش حرارتی ناخالص سوخت تمام اشکال انرژی حرارتی موجود در سوخت را شامل می‌گردد، در حالی که ارزش حرارتی خالص شامل این حرارت منهای حرارت نهفته در بخار آب می‌باشد. وقتی که مقادیر ناخالصی در معادله ذکرشده بکار روند تلفات گاز خروجی شامل تلفات گرمایی حاصل از بخار موجود در گاز خروجی نیز می‌شود، اما هنگامی که مقادیر خالص در معادله فوق بکار روند تلفات گرمایی حاصل از بخار حذف می‌گردد. بهمین دلیل بازده دیگ بخار براساس مقادیر خالصی ازنظر کمی بیشتر از محاسبات براساس مقادیر ناخالصی می‌باشد، علیرغم اینکه مقدار خروجی واقعی حرارتی در هر دو حالت یکسان است. غالباً در بیشتر کشورهای اروپایی ارزش حرارتی خالص بکاربرده می‌شود.

برای محاسبات این کتابچه، از مقدار ناخالص استفاده می‌شود زیرا این ساده‌ترین روش جهت ارتباط با هزینه‌های سوخت است. متوسط اختلاف بین ارزش حرارتی ناخالص و خالص بطور تقریبی برابر ۱۰٪ می‌باشد.

۳ ـ ۳ ـ تلفات گازهای خروجی

- **نسبت هوا به سوخت**

برای نیل به بازده حرارتی بالا و در نتیجه کاهش هزینه سوخت، دریک دیگ بخار میزان هوای احتراق باید محدود به هوای مورد نیاز جهت احترال کامل سوخت گاز از جمله هوای اضافی لازم متناسب با ترکیب خاص مشعل و دیگ بخار باشد.

گرمایش از طریق هوای اضافی به‌گازهای خروجی انتقال می‌یابد. درنتیجه اگر میزان هوای اضافی بیش از حد باشد تلفات مربوط ط به گازهای خروجی نیز زیاد شده و این امر موجب افزایش هزینه بهره‌برداری می‌گردد. همچنین اگر میزان دبی هوا بسیار کم باشد درصدی از سوخت، احتراق نیافته و درنتیجه باعث ایجاد دود می‌شود که احتمالاً مقررات مربوط به آلودگی را نقض خواهدنمود. در این حالت هزینه بهره‌برداری نیز افزایش خواهد یافت. نوع مشعل و سیستم‌های کنترل تنظیمات آن نتایجی که می‌توان به آن دست یافت را مشخص می‌کنند. در مورد میزان هوای اضافی باید با سازنده دیگ بخار و مشعلها مشورت نمود تا بهترین شرایط جهت سوخت و هوای مورد نیاز بدست آید.

بطور سنتی در هر مشـعل، تنظیم نسبت سوخت به هوا توسط تنظیم بادامک‌ها و بازوهای انتقال‌دهنـده صـورت می‌پذیرد. این تجهیزات اغلب در معرض کهنگی و فرسودگی قرار دارند. مهم است که تعمیرات و تنظیمات بـطور مـداوم و پـیوسته صورت پذیرد. بعلاوه هرجا که مشعلهای دوسوخته در مدار قرار دارند، هر گـونه تغییر سـوخت نیاز به تنظیم و آزمایش مجدد نسبت سوخت به هوا دارد تا مطمئن شویم کـه تغییـر سـوخت مشـعلها روی بـازده احتراق اثر نامطلوب نگـذاشـته است. تکنولوژی نوین امکـان حـفظ نسـبت سـوخت به هـوا را در کـلیه زمـانها فـراهـم کرده است. سروموتورهای مربـوط بـه شـیرهای سـوخت و دمپرهـای هواکـه بـا اسـتفاده از تکـنولوژی مـیکروپروسسوری کـنترل می‌شوند جـایگزین روشـهای قدیمی شده‌اند. بدین ترتیب با ایجاد یـک سیسـتم قابـل برنامه‌ریزی می‌توان بطور اتوماتیک نسبت سوخت به هوا را با توجه به نوع سوخت انتخاب‌کرده و کنترل نمود.

صرفه‌جوئی‌ها یا تلفات در اثر تغییرات بازده

محاسبات ساده، امکان صرفه‌جویی‌ها و یا تلفات را بخاطر تغییرات در بازده آشکار مـی‌سـازد. در صـورتی کـه مقدار بازده معلوم باشد، اثر بازده بر هزینه سوخت بشرح زیر است.

$$\text{تغییرات در هزینه سوخت} = \text{هزینه اولیهٔ سوخت} \times \frac{\text{بازده اولیه} - \text{بازده جدید}}{\text{بازده جدید}}$$

برای دیگ بخار نمونه با بازده ۷۵٪، اگر بازده با ٤٪ افزایش به ۷۹٪ برسد میزان صرفه‌جویی برابر خواهد بود با:

$$\text{صرفه‌جویی در هزینه سوخت} = ۲۸۵۰۰۰ \times \frac{۷۹ - ۷۵}{۷۹} = ۱٤٤۳۰ \text{ پوند در سال}$$

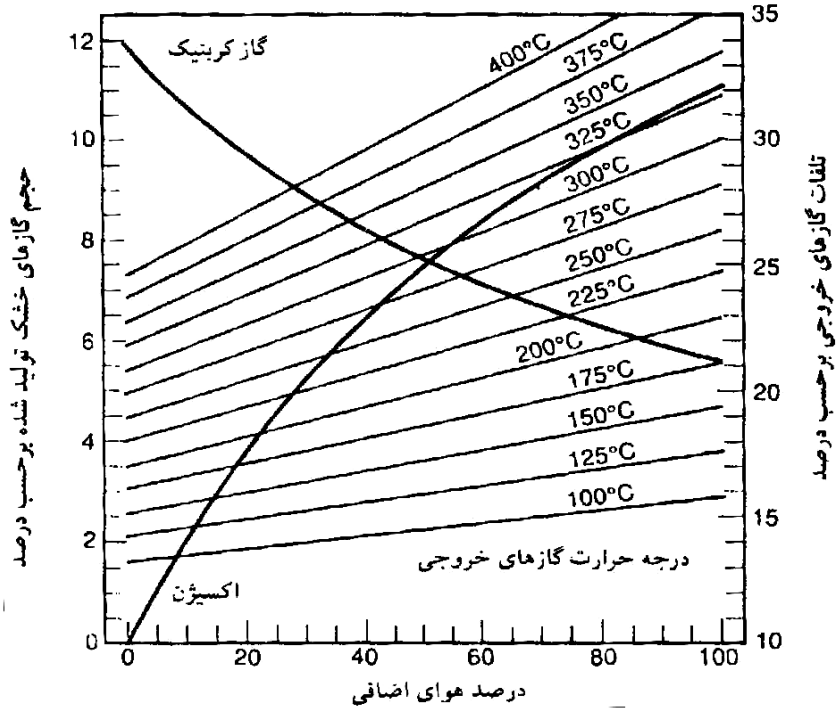
اگر دیگ بخاری با مصرف سوخت مشابه دیگ بخار نمونه دارای بازدهی برابر ۵۰٪ باشد افزایش بازده به میزان ٥٤٪ صرفه‌جویی بیشتر زیر را نتیجه می‌دهد.

$$\text{صرفه‌جویی در هزینه سوخت} = ۲۸۵۰۰۰ \times \frac{۵۴ - ۵۰}{۵۴} = ۲۱۱۱۱ \text{ پوند در سال}$$

برای آنکه بتوان صحت نسبت سوخت به هرا را بررسی کرد، روش معمول این است کـه گـازهای خـروجی دیگ بخار را مورد تجزیه شیمیایی قرار داد و با استفاده از ترکیبات و درجـه حـرارت آنهـا، تلفـات ناشـی از گـاز خروجی را ارزیابی کرد. این تلفات را می‌توان از طریق معادلات موجود دراستاندارد BS 845: 1987 بـا عـنوان روشهای ارزیـابی عـملکرد حـرارتـی دیگ‌های بخار، آب گـرم و سیال‌های دما بالای انتقال‌دهنده حرارت، بدست آورد. همچنین می‌توان تلفات را از طریق جداول و منحنی‌های مرجع (اشکال ۲، ۳ و ۵) که به اندازه کـافی جهـت هداف این کتابچه دقیق می‌باشند بدست آورد. منحنی‌های فوق حجم گاز خشک خروجی حاصل از سـوخت گـاز که در درجه حرارت محیط انـدازه‌گـیری شـده را نمایش می‌دهد. تلفات حاصـل از گازهـای خروجـی بـه ارزش حرارتی گـاز بسـتگی دارد.

منحنی‌ها، تلفات ناشی از احتراق با هوای کم را نمایش نمی‌دهند. هر دیگ بخاری که دارای مقادیر قابل توجهی گاز قابل احتراق در گاز خروجی باشد، باید به سرعت سیستم‌های کنترل خود را تنظیم مجدد نماید. چنین شرایطی نه فقط سبب اتلاف سوخت می‌شود بلکه می‌تواند خطرناک هم باشد.

باید به این امر توجه داشت که پیشرفتهای اخیر در زمینه کنترل مشعل می‌تواند نسبت سوخت به هوا را هرچه دقیق‌تر و پایدارتر در کل محدوده عملکرد مشعل کنترل نماید.



شکل ۲: تلفات گازهای خروجی – گاز طبیعی

همچنین سیستم‌هایی وجود دارند که بطور اتوماتیک تغییر شرایط را جبران می‌نمایند. برای مثال، کنترل‌کننده‌های تنظیم اکسیژن بطور پیوسته میزان اکسیژن را در گازهای خروجی نظارت کرده و تصحیحات لازم را در تأمین هوای مورد نیاز جهت دستیابی به شرایط بهینه بعمل می‌آورند. هزینه و مزیت امکانات و روشهای مختلف باید ارزیابی و مقایسه شود.

درک این مطلب بسیار مهم است که اتلاف سوخت به علت درست نبودن نسبت سوخت و هوا به سهولت آشکار نیست (این امر مانند نشتی بخار و یا گرم شدن بیش از حد هوای ساختمان واضح و آشکار نمی‌باشد). بنابراین باید توجه خاصی به تجزیه شیمیایی گازهای خروجی، ترجیحاً به‌طور منظم، مبذول داشت.

- **بررسی گازهای خروجی**

در شرایط بهره‌برداری کاراً از دیگ بخار پوسته‌ای با سوخت گاز طبیعی، حدود ۱۵ الی ۳۰ درصد هوای اضافی موجب ایجاد ۹ الی ۱۰ درصد گاز کربنیک و ۳ الی ۵ درصد اکسیژن در گازهای خروجی می‌شود. هنگام تجزیه

گازهای خروجی میزان منواکسیدکربن موجود در گازهای خروجی نیز باید اندازه‌گیری شود، زیرا این اندازه‌گیری شاخص احتراق ناقص می‌باشد.

تجهیزاتی جهت تجزیه شیمیایی‌گاز خروجی و اندازه‌گیری درجه حرارت وجود دارند که قیمت آنها از ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ پوند به بالا می‌باشد. این تجهیزات برای تجزیه منظم شیمیایی گازهای خروجی کافی هستند. تعداد زیادی دستگاه‌های تجزیه‌کننده شیمیایی گازهای خروجی وجود دارند که بطور اتوماتیک بازده دیگ بخار، درجه حرارت‌گاز خروجی، هوای اضافی، منواکسیدکربن و مقادیر بازده را با فشردن یک دکمه، محاسبه و اندازه‌گیری می‌کنند. هزینه بالا و نصب دائم یا استفاده از تجهیزات‌گران‌قیمت‌تر ممکن است جهت واحدهای بزرگ و همچنین در نقاطی که تعداد زیادی دیگ بخار وجود دارد قابل توجیه باشد.

هنگامی که از آنالیزور گازهای خروجی استفاده می‌کنید، پیروی از دستورالعمل‌های سازنده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. همچنین باید توجه داشت که دستگاه به شکل صحیح و مناسب سرویس شود. برای مثال نمونه‌های گازهای خروجی نباید با هوای نشتی رقیق شوند، زیرا که ممکن است نتایج گمراه‌کننده‌ای به دنبال داشته باشد. ضمناً باید همه نقاط اندازه‌گیری قبل این نمونه‌برداری کاملاً پاکسازی شوند. این امر بدین منظور است که خط عاری از هرگونه هوا بوده و مسدود نشده باشد.

نقاط نمونه‌گیری گازهای خروجی از دیگ بخار تا آنجا که ممکن است باید به دیگ بخار نزدیک باشد. ضمناً باید از اینکه نمونه گرفته شده، نماینده واقعی گاز خروجی است، از طریق قرارگرفتن در مقابل مسیرحرکت گاز، اطمینان حاصل کرد. در بعضی از دیگ‌های بخار قدیمی نوع آجری ممکن است پیدا کردن یک نقطه نمونه‌گیری که تحت تاثیر نفوذ هوا نباشد مشکل باشد. در شرایط فوق‌الذکر بایستی با افراد باتجربه درمورد آزمایش گاز خروجی مشورت نمود.

- **وضعیت سطوح انتقال حرارت**

اگر لوله‌های دیگ بخار در ابتدا تمیز بوده و تنظیمات مربوط به احتراق بخاطر تشکیل دوده، خارج از نقاط تنظیم نباشند، گازسوز بودن، سطوح حرارتی دیگ بخار را تمیز نگه می‌دارد. از شرایطی که منجر به شکل‌گیری دوده می‌شود باید در تمام اوقات اجتناب گردد.

صرفه‌جوئیها و یا تلفات بخاطر تغییر در ترکیبات گازهای خروجی، نمایش اهمیت نسبت سوخت به هوا

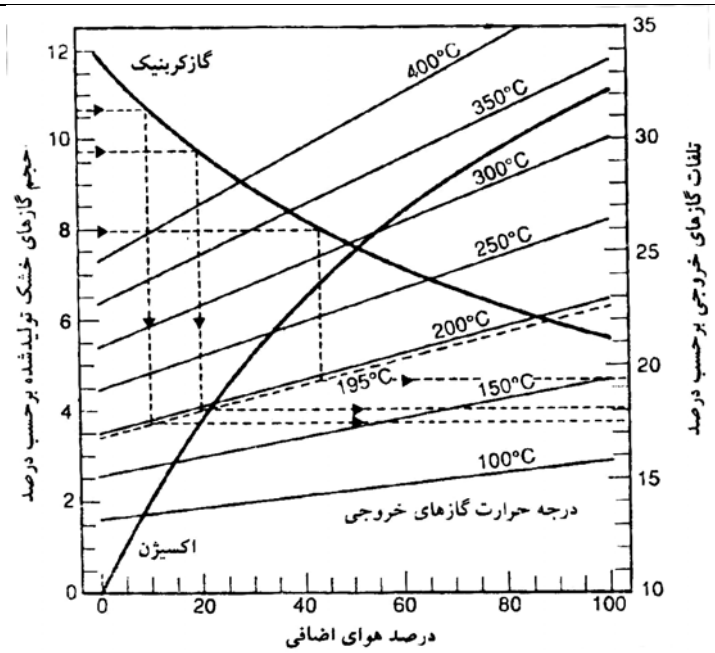
در دیگ بخار مورد مثال جهت ۱۸ درصد تلفات ناشی از گازهای خروجی ، ۲۰ درصد هوای اضافی مطابق مشخصات مورد نیاز می‌باشد. حال اگر هوای اضافی به ۱۰ درصد گاز Co_2 در گاز خروجی در درجه حرارت $۱۹۵^{\circ}c$ $(۳۸۳^{\circ}f)$ از ۹/۷۵ درصد به ۱۰/۷ درصد افزایش یافته و تلفات حاصل آن به ۱۷/٤ درصد کاهش خواهد یافت. بازده دیگ بخار به میزان ۰/٦ درصد بهبود یافته و به ۷۵/٦ درصد خواهد رسید.

(مطابق شکل ٤) پوند در سال $۲۲٦۲ = \frac{۷۵/۶ - ۷۵}{۷۵/۶} \times ۲۸۵۰۰۰$ پوند

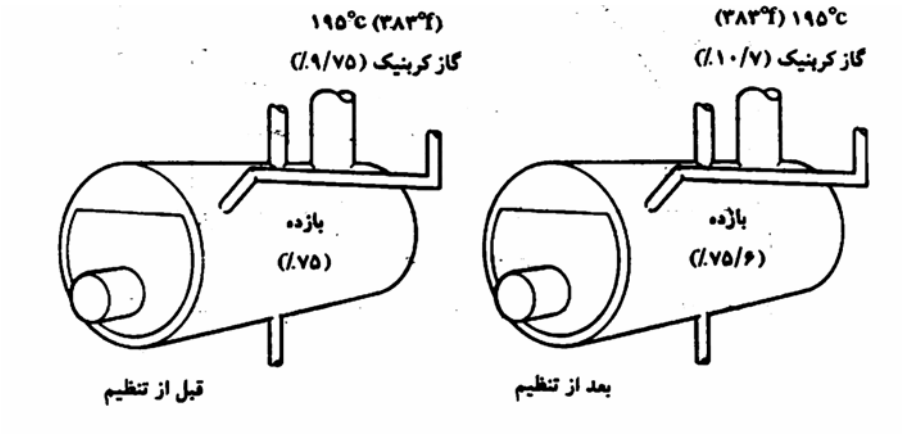
اگر هوای اضافی به ٤٤ درصد افزایش یابد، میزان درصد Co_2 در گاز خروجی در دمای ۱۹۵ درجه سانتیگراد (۳۸۳°f) از ۹/۷۵ درصد به ۸ درصد تقلیل پیدا می‌کند. در این حالت تلفات گازهای خروجی افزایش یافته و و بازده دیگ بخار ۱/۳ درصد تنزل کرده و به ۷۳/۷ درصد خواهد رسید. این امر سبب افزایش مصرف سوخت سالیانه به شکل زیر می‌گردد:

$$۲۸۵۰۰۰ \times \frac{۷۳/۷ - ۷۵}{۷۳/۷} = ۵۰۲۷ \text{ پوند در سال}$$

در شکل ۳، این مثال جهت نمایش نحوهٔ استفاده از منحنی‌ها پیاده شده است.

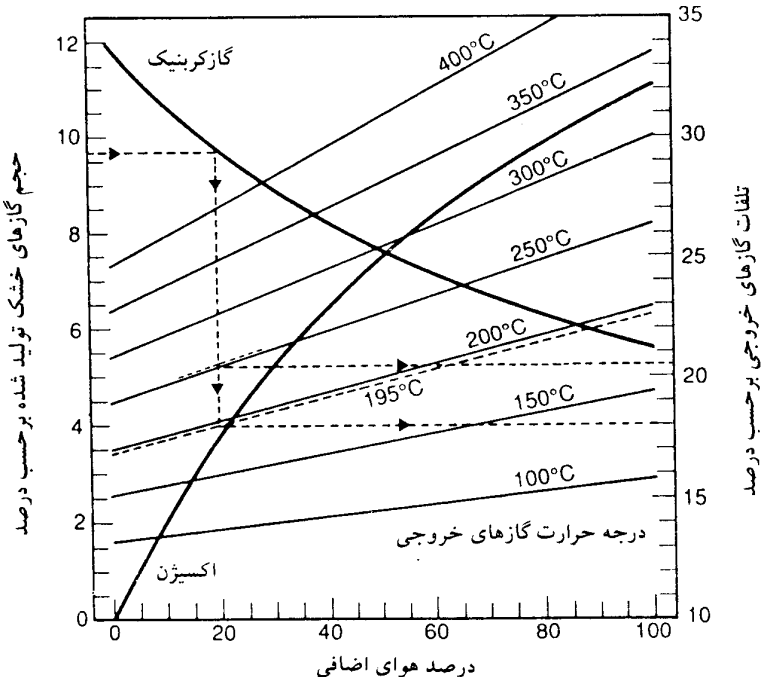


شکل ۳ : تلفات گازهای خروجی -گاز طبیعی - اثر کاهش و افزایش هوای اضافی

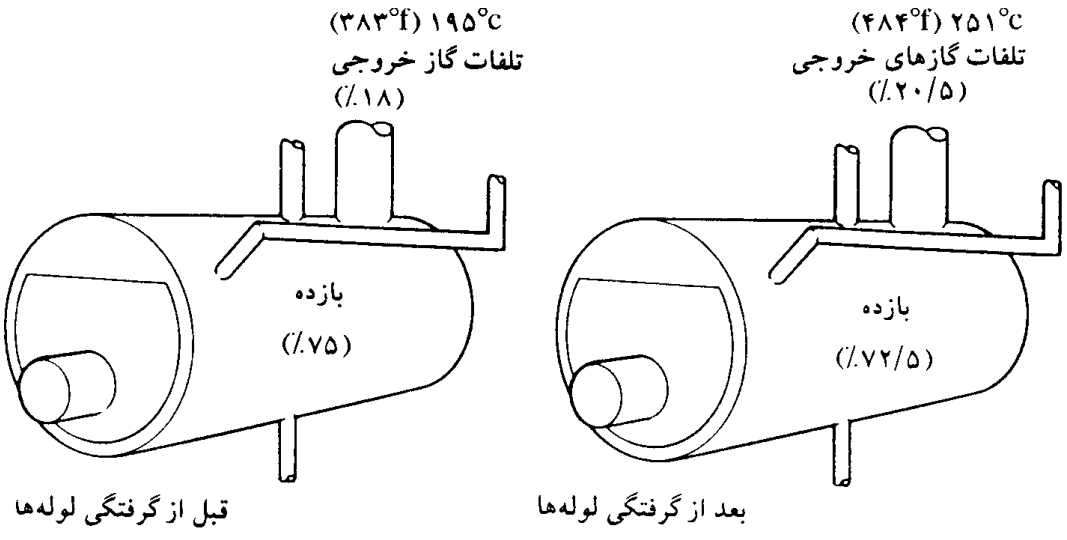


شکل ٤: تغییر در بازده بخاطر تغییر در ترکیبات گازهای خروجی

اگر لوله‌ها در هنگام دو سوخته بودن بعلت بد کار کردن کثیف شوند، تلفات دودکش افزایش یافته و میزان سوخت مصرفی اضافه می‌گردد. هزینه‌های تمیزکاری لوله‌ها بسرعت توسط صرفه‌جویی در سوخت جبران می‌گردد. نظر کارخانه سازنده دیگ بخار درخصوص تناوب شستشوی لوله‌ها باید در نظر گرفته شود.



شکل ۵: تلفات گازهای خروجی -گاز طبیعی – اثر دمای زیاد گازهای خروجی



شکل ٦: تغییر در بازده بعلت تغییر درجه حرارت گازهای خروج

مثال برای نمایش اثر کثیف شدن سطوح انتقال حرارت

۵۶ درجه سانتیگراد ($f^{\circ}۱۰۰$) افزایش در دمای گاز خروجی سبب افزایش تلفات گازهای خروجی از ۱۸ درصد به ۲۰/۵ درصد خواهد شد. برای دیگ بخار مورد مثال، این امر سبب کاهش بازده به میزان ۲/۵ درصد با هزینه معادل زیر خواهد شد:

پوند در سال ۹۸۲۸ = $\frac{۷۲/۵ - ۷۵}{۷۲/۵} \times$ ۲۸۸۵۰۰۰ پوند (شکل ٦ را ملاحظه کنید)

در شکل ۵، این مثال درخصوص چگونگی استفاده از منحنی‌ها نمایش داده شده است.

- **سیستم‌های بازیافت حرارت از گازهای خروجی**

گازهای خروجی هنگام ترک دیگ بخار با دمایی بالاتر از بخار تولیدی خارج می‌شوند. بخشی از این انرژی حرارتی، متناسب با فضای در دسترس، استفاده از انرژی بازیافتی و برنامه بهره‌برداری قابل دستیابی است. بعضی از سیستمهایی که توسط آنها بازیافت حرارتی امکان‌پذیر است ذیلاً شرح داده شده است. توانایی‌کار هریک از سیستمها برای هر کاربرد خاص را می‌توان از سازندگان این تجهیزات بدست آورد.

- **اکونومایزرها**[1]

۱ ـ اکونومایزرهای سنتی

گرم کننده‌های آب تغذیه که به اکونرمایزر موسومند می‌توانند تا ۵ درصد سوخت را صرفه‌جویی کنند و بخصوص برای استفاده در دیگ‌های بخار گازسوز مناسب می‌باشند. ازحرارت بازیافت شده جهت پیش‌گرمایش آب ورودی به دیگ بخار و یا گرمایش هوای احتراق استفاده می‌گردد. برای دیگ‌های بخاری که با در سوخت کار می‌کنند، اکونومایزر می‌تواند در هنگام کار با سوخت دوم از مدار خارج[2] گردد.

۲ ـ اکونومایزرهای تقطیری

از آنجا که سوخت گاز، محتوی کمترین مقدار سولفور می‌باشد، بنابراین دمای گازهای خروجی می‌تواند زیر دمای نقطه شبنم آب قرار گیرد بدون آنکه سبب مشکلات خوردگی قابل ملاحظه‌ای گردد. صرفه‌جویی در انرژی با استفاده از حرارت بازیافت شده بوسیله پیش گرمایش آب تغذیه دیگ بخار و هوای احتراق حداقل به میزان ده درصد است.

- **صفحات جهت‌دهنده**

نصب صفحات جهت‌دهنده با طراحی مخصوص در مسیر گازهای خروجی از دیگ‌های بخار قدیمی چدنی می‌تواند متوسط بازده دیگ بخار را به میزان ۵ درصد افزایش دهد.

---

[1] Economisere
[2] By Pass

افزایش دیگری را می‌توان در بازده دیگ بخار و بهبود وضعیت احتراق از طریق نصب صفحات جهت دهنده در دیگ‌های بخاری که با سطوح بالای هوای اضافی کار می‌کنند بدست آورد.

برای دیگ‌های بخار قدیمی نصب صفحات جهت‌دهنده روشی بسیار ساده و مقرون به صرفه به منظور نیل به صرفه‌جویی در پول و سوخت می‌باشد. اما در دیگ‌های بخار مدرن با تنظیم صحیح هوای اضافی، صفحات جهت‌دهنده قادر نخواهند بود که بهبود قابل‌توجهی در بازده ایجاد نمایند.

- **رکوپراتور پاششی**[1]

پیشرفتهای اخیرا در استفاده از دیگ‌های بخار گازسوز سبب شده است که با تزریق آب به گاز خروجی بتوان انرژی گرمایی را از آن بازیابی کرده و همچنین از انرژی گرمای نهان بخار آب استفاده نمود.

این واحدها را می‌توان همراه اکونومایزر و یا به تنهایی به عنوان بازیاب گرما در دیگ‌های بخار نصب نمود. بهرحال برای آب یک محدودیت حداکثر دمای عملی و اقتصادی که می‌توان تا آن دما آنرا گرم نمود، وجود دارد. ضمناً باید نیاز به مقدار متنابهی آب گرم در تأسیسات وجود داشته باشد تا اقتصادی بودن آن اثبات شود. برای سیستمهایی که با دو سوخت کار می‌کنند، سیستم بازیاب گرما را می‌توان در هنگام استفاده از سوخت دیگر مثلاً مازوت، مانند اکونومایزر از مدار خارج نمود.

- **چرخهای جذب‌کننده گرما**

یک چرخ گرمایی واحدی است که در آن در اثر عبور گاز خروجی از بخشی از یک طبلک[2] دوار که دارای سطحی زیاد است گرما جذب می‌کند. سپس بخش گرم شده جای خود را به بخش دیگری از طبلک می‌دهد و هوا از آن عبور داده می‌شود تا حرارت را جذب کند. سپس این هوای‌گرم شده را می‌توان جهت فرآیند و یا گرمایش هوای داخل ساختمان استفاده نمود.

- **دمپرهای گاز خروجی**

در بعضی از موارد ممکن است قرار دادن دمپرهای ایزوله‌کننده در مسیر گاز خروجی اقتصادی باشد. برای آنکه بتوان صرفه‌جویی‌ها را تخمین زد، باید ترکیبی از برنامه بهره‌برداری دیگ بخار و شرایط گاز خروجی را مورد بررسی قرار داده و با سازنده دیگ بخار نیز مشورت نمود. طرحها باید دقیقاً مورد ارزیابی قرارگرفته و مسائل ایمنی نیز مورد تجزیه و تحلیل قرارگیرد.

٤ ـ ٣ ـ تلفات تشعشعی

تلفات تشعشعی به تلفات حرارتی از سطح خارجی دیگ بخار اطلاق می‌گردد. این تلفات حرارتی در واقع ترکیبی از تلفات تشعشعی، جابجایی و رسانایی می‌باشد. اما برای کارهای عملی معمولاً کلمه تشعشع فقط در موقع محاسبه بازده دیگ بخار استفاده می‌گردد.

---

[1] Spray Recuperator
[2] Drum

تلفات تشعشعی در دیگ‌های بخار مدرن کمتر از یک درصد گرمای ورودی به دیگ بخاردربارحداکثر می‌باشد. این مقدار بهرحال ممکن است در دیگ‌های بخار قدیمی بطور قابل ملاحظه‌ای بالاتر باشد و حتی در دیگ‌های بخاری که عایقهای حرارتی آنها از وضعیت خوبی برخوردار نبوده و یا دیگ‌های بخار با طرح قدیمی به میزان ده درصد افزایش یابد.

تلفات تشعشعی به سادگی در دیگ بخار قابل اندازه‌گیری نمی‌باشد و بطور معمول در تلفات پراکنده جهت جبران توازن حرارتی منظور می‌گردد. بهمین علت نه آن غالباً عنوان تلفات تشعشعی و سایر تلفات اطلاق می‌شود و می‌تواند بیش از مقدار مورد انتظار برای تلفات واقعی سطوح باشد.

تلفات تشعشعی برای دیگ بخار در حال کار، ثابت است. بنابراین اگر دیگ بخار تحت شرایط بار کم کار کند، این تلقات بخش بزرگتری از سوخت مصرفی نسبت به حالتی که دیگ بخار با بار حداکثر کار نماید را تشکیل می‌دهد.

مثال: تاثیر بهره‌برداری در بار جزئی

اگر بار در دیگ مورد مثال توسط دو دیگ بخاری که هر همین امر سبب ۵۷۰۰ پوند هزینه اضافی (۲ درصد ۲۸۵۰۰۰ پوند) در سئخت سالیانه دیگ بخار مورد مثال در مقایسه با تأمین بار فوق با دیگ بخار در حداکثر بار می‌شود. یک در نیمه بار حداکثر خود کار می‌کنند تأمین شود و تلفات تشعشعی واقعی هریک حداکثر بار ۲ درصد باشد، مجموع تلفات تشعشعی دو برابر و برابر ٤٪ خواهدشد.

۵ ـ ۳ ـ برنامه احتراق/کنترل ترکیبی دیگ‌های بخار

میزان و نمودار گرمای مورد نیاز یک واحد در طول روز و هفته و حداقل تعداد دیگ‌های بخار در مدار برای تأمین تقاضا، باید بطور مکرر مورد بررسی و مطالعه قرارگیرد. ممکن است ارزش ریسک داشته باشد که به منظور نیل به بازده بهینه در صورت وقوع اشکال در یک دیگ بخار، از دست دادن موقتی وگاهش بخار تغذیه را بپذیریم. یک ارزیابی جهت تعیین زمان مورد نیاز برای در مدار قرار دادن یک دیگ بخار ذخیره و یا برطرف کردن اشکالات ضروری است.

در محلهائی که تعداد زیادی دیگ بخار نصب شده و در حال بهره‌برداری می‌باشند، صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای را می‌توان در میزان سوخت و انرژی از طریق نصب یک سیستم کنترل جهت استارت ترتیبی دیگ‌های بخار بعمل آورد. این تجهیزات کنترل، تمام اتوماتیک و براساس سیستم‌های کنترل میکروپروسسوری بنا نهاده شده‌اند و وظیفه نظارت بر مراحل مختلف روشن و خاموش کردن دیگ‌های بخار و تجهیزات وابسته مطابق با تقاضا برای مصرف بخار را بعهده دارند.

شیرهایی که بطور پیوسته استفاده نمی‌شوند باید بطور منظم مورد بازدید قرار گیرند. گاهی اوقات شیرهای ایزوله‌کننده یک دیگ بخار از دیگر دیگ‌های بخار حتی در حالت بسته نیز نشتی دارند، لذا این گونه شیرها نیاز به تعمیرات منظم جهت جلوگیری از نشت بخار از دیگ بخار در حال کار، به دیگ بخار ذخیره را دارند.

هرگاه دیگ‌های بخار نیاز به توقف دراز مدت داشته باشند باید از طریق قرار دادن صفحاتی در در طرف شیرهای ارتباطی دیگ‌های بخار، مسیرهای مربوطه کاملاً ایزوله گردند.

٦ ـ ٣ ـ کنترل متمرکز دیگ‌های بخار

یک سیستم کنترل متمرکز، ترکیبی از سیستمهای کنترل میکروپروسسوری خاص می‌باشد. همانطورکه قبلاً اشاره شد این سیستم شامل کنترل نسبت سوخت به هوا و تنظیم اکسیژن همراه با یک سیستم عیب‌یاب جهت آشکار نمودن اشکالات دیگ بخار و تجهیزات وابسته به آن می‌باشد. مزایای سیستم کنترل متمرکز بسیار زیاد است. از جمله می‌توان همهٔ جوانب بهره‌برداری دیگ بخار را همزمان بهینه نمود. در نتیجه حداکثر بازده مجموعه بدست آمده و زمان توقف دیگ بخار به حداقل کاهش می‌یابد.

٧ ـ ٣ ـ سیستم‌های کنترل دور متغیر برای فن‌های هوای احتراق

اگر مشخصه بار یک دیگ بخار بزرگ متغیر باشد، آنگاه صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در انرژی از طریق بکارگیری سیستم کنترل دور متغیر[1] (VSD) امکان‌پذیر است.

سیستم (VDS) مشخصه کارکرد یک فن سرعت ثابت با یک دمپر قابل تنظیم را شبیه‌سازی می‌کند. همچنین این سیستم، متوسط انرژی الکتریکی مورد نیاز موتور فن را بطور تقریبی به میزان ٦٠ درصد کاهش می‌دهد. نشان داده شده است که این سیستم باعث کاهش هزینه شده و همچنین موجب ایجاد شرایط خوب برای احتراق و افزایش بازده دیگ بخار گردیده است.

٨ ـ ٣ ـ پیش‌گرمایش هوای احتراق

پیش گرم کردن هوای احتراق یکی دیگر از امکانات صرفه‌جویی در انرژی محسوب می‌شود. بهمین دلیل بررسی استفاده از این روش ارزشمند است. منابع حرارتی معمول برای پیش‌گرمایش هوای احتراق عبارتند از:

- انرژی حرارتی باقیمانده در گازهای خروجی
- هوا با دمای بالا که از سقف محفضه دیگ بخار خارج می‌شود
- حرارت بازیافتی از هوای عبوری از رئ یا داخل پوسته دیگ بخار به‌منظور کاهش تلفات پوسته اگر دمای هوای احتراقی ٢٠ درجه افزایش یابد، بازده حرارتی دیگ بخار یک درصد افزایش می‌یابد.

[1] Variable Speed Drive (VSD)

۹ ـ ۳ ـ تخلیهٔ[1] دیگ بخار

تخلیه دیگ بخار بدلایل زیر ضروری است:

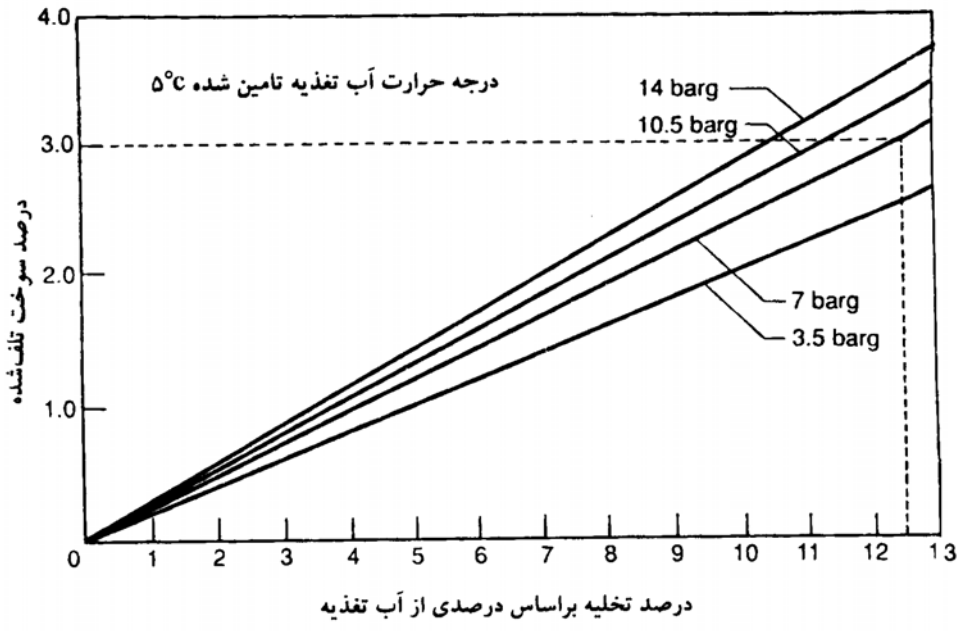
- خارج کردن گل و لای حاصل از نمک‌های تبخیر شده
- جلوگیری از ایجاد رسوب در لوله‌ها و کف لوله‌ها در سمت آب
- جلوگیری از ورود املاح به داخل جریان اصلی بخار

به منظور جلوگیری از تلفات حرارتی غیر ضروری، میزان تخلیه را باید با توجه به سطح املاح توصیه شده و مجاز آب، به حداقل ممکن کاهش داد. استفاده از حرارت تلف شده ناشی از تخلیه دیگ بخار برای اهداف مفیدی چون پیش‌گرمایش آب تغذیه باید مورد بررسی قرارگیرد. میزان اتلاف حرارتی حاصل از تخلیه دیگ بخار در شکل ۷ نمایش داده شده‌است.

مثالی از اثر تخلیه دیگ بخار بر هزینه

در دیگ بخار مورد مثال، تخلیه دیگ بخار موجب ۳ درصد تلفات می‌شود. این امذ نشاندهنده تقریباً ۱۲/۵ درصد تلفات در بخار می‌باشد که آنهم به نوبه خود معادل ۱۲/۵ درصد تلفات در آب تغذیه می‌باشد که در مجموع این امر موجب ۸۵۵۰ پوند در سال اتلاف سوخت خواهد شد. به این مبلغ باید هزینه‌های مربوط به تامین آب و تصفیه آن را در صورت وجود اضافه نمود. این مثال در شکل ۷ به منظور نمایش چگونگی استفاده از منحنی، نمایش داده شده است.

تلفات بالای تخلیه ممکن است هزینه‌های مربوط به تجهیزات بازیافت حرارت و یا تاسیسات تصفیه آب را توجیه نماید. اگر تمام مایع حاصل از میعان کارخانه به چاه گرم برگشت داده شود در این صورت نرخ تخلیه می‌تواند شدیداً کاهش یابد.



شکل ۷- درصد سوخت تلف‌شده ناشی از تخلیه دیگ بخار

[1] Blowdown

در محل‌هائیکه بیش از یک دیگ بخار در یک سیستم دوره‌ای در مدار است، مناسب است که سیکل تخلیه دیگ بخار بگونه‌ای برنامه‌ریزی شود که بتوان بطوری یکنواخت از انرژی به هدر رفته استفاده نمود. این امر موجب اقتصادی شدن بازیافت انرژی می‌گردد زیرا تجهیزات بازیافت انرژی بدین ترتیب کوچکتر و در عین حال برای مدت بیشتری در حال کار خواهد بود. در این صورت صرفه‌جویی بیشتری در انرژی مصرفی بدست خواهد آمد.

یکی از ساده‌ترین راهها برای بازیافت انرژی حرارتی تلف‌شده از طریق تخلیه دیگ بخار استفاده مستقیم از فلاش بخار[1] است. این امر در هنگام کاهش فشار در شیرتخلیه رخ می‌دهد. این بخار به آب خالصی تبدیل می‌شود که محتوی هیچگونه ذراتی نمی‌باشد، و می‌توان آنرا مستقیماً به آب تغذیه دیگ بخار اضافه نمود. حرارت و گرمای بیشتری را نیز می‌توان از طریق یک مبدل حرارتی برای پیش‌گرمایش آب تغذیه دیگ بخار بازیابی نمود (کتابچه‌ای با عنوان «بخار» این موضوع را با شرح بیشتری بیان می‌کند).

۱۰ ـ ۳ ـ تأمین آب تغذیه

- **تصفیه آب**

تصفیه شیمیایی آب برای نیل به اهداف زیر ضروری است:

- از ایجاد رسوب در دیگ‌های بخار و تجهیزات کمکی که موجب افزایش دمای گاز خروجی و کاهش بازده دیگ بخار می‌گردد جلوگیری می‌نماید (کتابچه‌ای با عنوان «بخار» مثالهایی درخصوص اثرات ناشی از رسوب در لوله‌ها بر انتقال حرارت را ارائه می‌دهد).
- برای کنترل تشکیل رسوب و گل و لای در دیگ بخار و کاهش میزان تخلیه دیگ بخار.
- جهت کاهش و یا حذف خوردگی در دیگ بخار و لوله‌های اصلی بخار (از دی‌اکسیدکربن موجود در بخار) که می‌تواند به هزینه بیشتر تعمیرات منجر گردد.
- برای اجتناب از آلودگی بخار توسط آب دیگ بخار که می‌تواند به دلیل پدیده تشکیل توده‌های کفی شکل و ورود ذرات آب به ناحیه بخار دیگ ایجاد شود.
- برای حداقل کردن خوردگی در دیگ بخار بعلت اکسیژن محلول در آب تغذیه.

تصفیه کافی آب باید طبق دستورات یک متخصصی خیره تصفیه، صورت پذیرد. بایستی از تزریق بیش از حد مواد شیمیایی جهت تصفیه آب پس از اطمینان از تصفیه کافی آن اجتناب نمود. همچنین باید در مواقعی که دیگ بخار از مدار خارج است پمپهای تزریق را قطع نمود. در حالت ایده‌آل باید تجهیزات تزریق مواد با توجه به عملکرد پمپ آب تغذیه کنترل شوند.

---

[1] Flash Steam

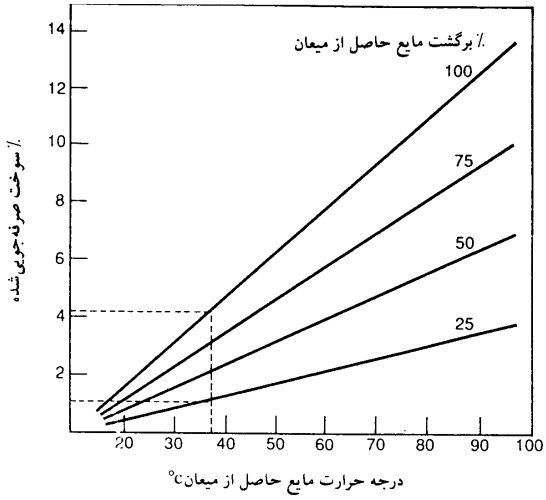
امکانات و تسهیلات لازم جهت تصفیه آب باید متناسب با نیازها باشد. برای اطمینان از این موضوع باید از پیشنهادات و نظرات شرکت‌های سازنده تجهیزات تصفیه آب، دیگ بخار و شرکتهای بیمه استفاده نمود. خرید ارزانترین تجهیزات لزوماً بهترین کار نیست. بیشتر مراحل تصفیه آب باید در خارج از دیگ بخار صورت پذیرد.

هرگاه کیفیت تصفیه آب بهبود یابد و یا بخش بیشتری از آب حاصل از میعان به سیکل برگشت داده شود، میزان تخلیه لازم کاهش خواهد یافت. مقدار مواد جامد محلول در آب بسادگی از طریق اندازه‌گیری چگالی آب (بکار بردن هیدرومتر مخصوص) و دمای آن معین می‌شود. کیت‌های آزمایش آب دیگ بخار ارزان و بسادگی قابل استفاده می‌باشند و می‌توان آنها را از طریق یک متخصص تصفیه آب خریداری نمود. جزئیات توصیه‌ها درخصوص تصفیه آب را می‌توان در استاندارد BS 2486: 1978 با عنوان «توصیه‌هایی جهت تصفیه آب در دیگ‌های بخار» پیدا نمود.

- **بازیافت مایع حاصل از میعان**
- هرگاه دمای آب تغذیه پایین باشد، علت آن باید کشف گردد، کاهش دمای آب تغذیه می‌تواند از عوامل زیر باشد.
- شدت کم برگشت مایع حاصل از میعان
- فقدان عایق حرارتی بر روی لوله‌های مایع برگشتی حاصل از میعان (هرچند این امر ممکن است در سیستم‌هایی که صرفاً برای گرمایش محیط به کار می‌روند، مهم نباشد.)
- تلفات ناشی از دیواره‌ها و سرریز مخزن آب تغذیه

بایستی برگشت مایع حاصل از میعان، تا آنجا که از نظر اقتصادی امکان‌پذیر است، از منابعی که امکان آلودگی وجود ندارد صورت پذیرد. این امر موجب صرفه‌جویی درگرما، آب تغذیه و مواد شیمیایی بکار رفته در تصفیه آب خواهد شد. ضمناً این امر تلفات ناشی از تخلیه دیگ بخار را نیز کاهش می‌دهد.

صرفه‌جوئی‌های بعمل آمده در سوخت درنتیجه اضافه کردن مایع برگشتی حاصل از میعان در شکل ۸ نمایش داده شده است.



شکل ۸: سوخت صرفه‌جویی شده در اثر برگشت مایع حاصل از میعان

در مکانهائی که خطر آلودگی آب وجود دارد، تخلیه اتوماتیک مایع مربوط با اندازه‌گیری هدایت مخصوص آن مرسوم می‌باشد. تجهیزات نظارت باید بنحوی نصب شوند که تنها مایع آلوده تخلیه شود و بقیه به سیکل باز گردد. در تأسیسات صنعتی بزرگ، ضروری است که هر یک از منابع ایجاد مایع حاصل از میعان جداگانه نظارت و به طور مستقل به سیستم بازگشت داده شده و یا به آب هرز تخلیه شوند. مایع آلوده می‌تواند موجب خوردگی در دیگ بخار و همچنین آلودگی بخار گردد. بنابراین باید از آن اجتناب نمود.

بدون ترتیبات خاص، به خاطر مسئله حفره‌زائی[1] در پمپ آب تغذیه بندرت ممکن است که بتوان از آب تغذیه با دمای بالاتر از ۸۲°c (۱۸۰°f) استفاده نمود. دمای آب تغذیه را می‌توان در صورتی که اکونومایزر نصب شده باشد به بالاتر از این سطح افزایش داد. هرگاه شکی در این خصوص وجود دارد باید با سازنده دیگ بخار و پمپ تغذیه مشورت نمود.

کتابچه‌ای با عنوان «بخار» دارای بخشی درخصوص روشهای بازیافت انرژی حرارتی می‌باشد که تمام مطالب این بخش را با جزئیات مربوطه دربرمی‌گیرد.

مثالی برای صرفه‌جویی‌های ممکن از طریق افزایش میزان مایع برگشتی حاصل از میعان

اگر دمای آب تغذیه در دیگ بخار مورد مثال از ۱۵/۵°c (۶۰°f) به ۳۸°c (۱۸۰°f) (از طریق افزایش میزان مایع برگشتی حاصل از میعان با درجه حرارت ۳۸°c از ۲۵ درصد به ۱۰۰ درصد) افزایش یابد این امر موجب ۳/۲ درصد صرفه‌جویی در هزینه‌های دیگ بخار خواهد شد، یعنی مطابق شکل ۹، ۹۱۲۰ پوند در سال صرفه‌جویی خواهد شد. صرفه‌جویی بیشتری نیز از طریق کاهش میزان تلفات تخلیه بطور طبیعی انجام خواهد گرفت.

۱۱ ـ ۳ ـ سرویسهای آب گرم و بخار

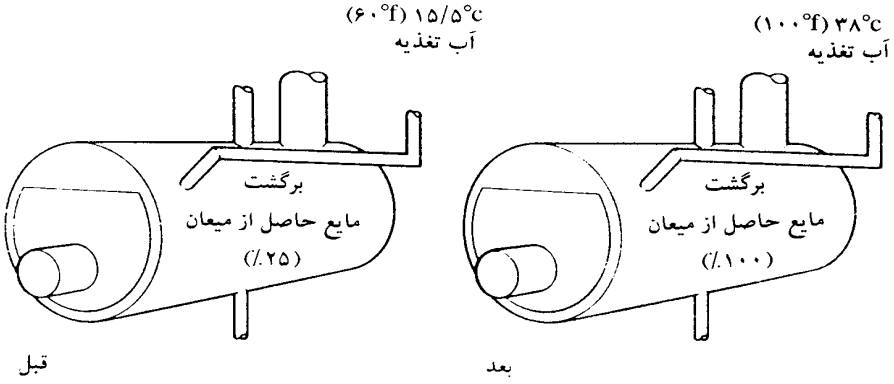
- تأمین بخار

دیگ‌های بخار نباید کمتر از حداقل فشار توصیه شده توسط کارخانه سازنده بهره‌برداری شوند. اگر تجهیزاتی که از این بخار استفاده می‌کنند فشار بسیار پایینی را نیاز داشته باشند، باید کاهش ظرفیت دیگ بخار یا تعویض آن مورد بررسی قرار گیرد و یا اینکه از بخار فشار بالا در یک توربین بخار جهت تولید الکتریسیته استفاده شود. این اعمال موجب به حداقل رساندن تلفات توزیع انرژی حرارتی خواهد شد. افت فشار در خطوط اصلی بخار تا نقطه مصرف نیاز به بررسی دارد. بدین ترتیب می‌توان فشاربهینه ابتدای خط را تعیین نمود.

- اتصالات لوله اصلی[2] دیگ بخار

در جائی که بیش از دو دیگ بخار به لوله مشترکی متصل باشند، صحت نحوه اتصال بسیار مهم است. شکل ۱۰ اتصال صحیح و ناصحیح و روشهای اتصال چهار دیگ بخار به لوله اصلی را نمایش می‌دهد.

---
[1] Cavitation
[2] Header



شکل ۹: تغییردر هزینه بهره‌برداری دیگ بخار بعلت افزایش میزان مایع برگشتی حاصل از میعان

اتصال ناصحیح می‌تواند به سلسله وقایع زیر منجر گردد. یک یا چند دیگ بخار ممکن است با تقاضاییبیشتر بخار تا ۲۵ درصد (مثال: دیگ‌های بخار ۳ و ٤ در شکل ۱۰a) مواجه شوند. بخاطر گرمای ورودی محدود، دیگ‌های بخار به این تقاضا با افت فشار، همراه با انبساط مخلوط آب و بخار موجود در دیگ بخار پاسخ می‌دهند که این امر سبب ایجاد کف و ورود املاح به داخل لوله‌های بخار می‌شود. در شرایط نامساعد این امر می‌تواند موجب تلفات آب دیگ بخار گردد که منجر به خروج دیگ بخار از مدار بعلت کمبود آب شده و درنتیجه بار دیگ بخار فوق به دیگ‌های بخار باقیمانده اعمال خواهد شد. این وقایع به نوبه خود سبب اعمال بار اضافی به دیگ‌های بخار شده و در نهایت سیستم بهم پیوسته دیگ‌های بخار در زمانی که به بار همهٔ آنها نیاز باشد از مدار خارج خواهند شد. این پدیده بعلت افت فشار در امتداد لوله اصلی ایجاد می‌شود که متناسب با مجذور جریان بخار افزایش می‌یابد.

در شکل ۱۰a فشار لوله اصلی بشدت از نقطه اتصال دیگ بخار ۱ تا دیگ بخار ۳ و ٤ کاهش پیدا می‌کند و همچنانکه خروجی دیگ‌های بخار، پی‌درپی به لوله اصلی اضافه می‌شوند دیگ‌های بخار ۳ و ٤ شدیداً اضافه بار پیدا می‌کنند. توجه داشته باشید که اختلاف فشار و بنابراین بارگیری بین دیگ‌های بخار ۱ و ۲ خیلی کم و درحدود ۵٪ خواهد بود که تجهیزات احتراق دیگ بخار می‌توانند از عهده آن برآیند. جهت اجتناب از مسائلی‌که ذکر شد باید از اتصال بیش از دو دیگ بخار به یک لوله اصلی یا لوله فرعی مطابق شکل ۱۰a جتناب نمود.

بسیاری از واحدهای صنعتی دارای دیگ‌های بخاری هستند که بطور صحیح به سیستم توزیع وصل نشده‌اند و درنتیجه مشکلات فوق‌الذکر را درپی خواهند داشت. تغییر اتصالات جهت غلبه بر مشکلات مذکور ارزشمند است. بعنوان یک راه حل موقت، خروجی تمام دیگ‌های بخار باید به صفحات فلزی مشبک[1] (محدودکنندهٔ

[1] Orifice Plate

میزان جریان بخار) مجهزّ گردند. این صفحات در حداکثر بار دیگ بخار فقط افت فشاری معادل bar ۳ را موجب می‌گردند.

مسائل بارگیری در تمام دیگ‌های بخار بدون توجه به سوخت مصرفی وجود دارد. در صورتی‌که این مساله تداوم داشته باشد در آن صورت بطور جدی ضریب اطمینان و بازده کل واحد تولیدکننده و مصرف‌کننده بخار را تحت تأثیر قرار خواهد داد.

- شبکه لوله‌کشی

تمام شبکه لوله‌کشی و شیرهای حامل بخار و مایع حاصل از میعان باید به طور مناسب از لحاظ حرارتی و نشت آب عایق‌بندی شده باشند بجز در جاهایی‌که آنها منحصراً قسمتی از یک سیستم گرمایش کنترل شده باشند. بخار تغذیه باید وقتی احتیاجی به‌گرمایش نیست قطع شود. عایق‌بندی لوله‌هایی با قطر بزرگ چند هفته وقت می‌گیرد و این عمل برای لوله‌های کوچک چندین ماه به‌طول می‌انجامد. اغلب در تأسیسات صنعتی قدیمی شیرهای بخار و فلانج‌ها[1] عایق‌بندی نشده و حرارت را انتقال می‌دادند. لیکن امروزه اقتصادی است که تجهیزات فوق‌الذکر در مقابل انتقال حرارت عایق‌بندی شوند.

باید برنامه‌هایی را جهت آزمایش مرتب عایق‌ها و تعویض سریع آنها در نقاط مورد لزوم تهیه کرد. این امر بخصوص در تجهیزات و لوله‌هایی‌که نیاز به تعمیر و باز شدن دارند صادق است. ضخامت اقتصادی عایق باید در موقع تعویض مورد ارزیابی مجدد قرار گیرد. بعضی از پیمانکاران تاسیسات و کارخانه‌های تولیدکنندهٔ تجهیزات عایقی، ممکن است هنوز هم از عایقهایی با ضخامتهای غیراقتصادی استفاده کنند. اطلاعات بیشتر را می‌توان از کتابچه‌ای با عنوان «ضخامت اقتصادی عایق‌ها برای لوله‌های آب گرم» بدست آورد.

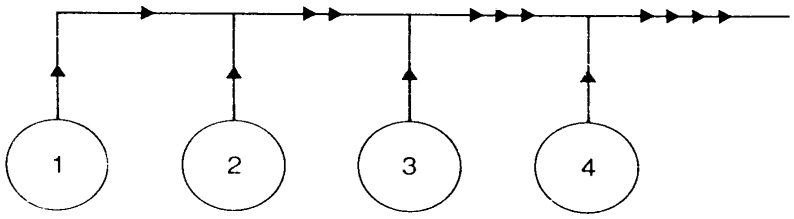
در محل‌هائی که حفره‌زایی ممکن است بدلیل افزایش دمای آب بعلت عایق‌بندی لوله‌های آب تغذیه ایجاد شود، باید در مکش پمپ آب تغذیه ستون آب کافی در نظرگرفته شود.

مثالی برای نمایش اثرات عایق‌بندی

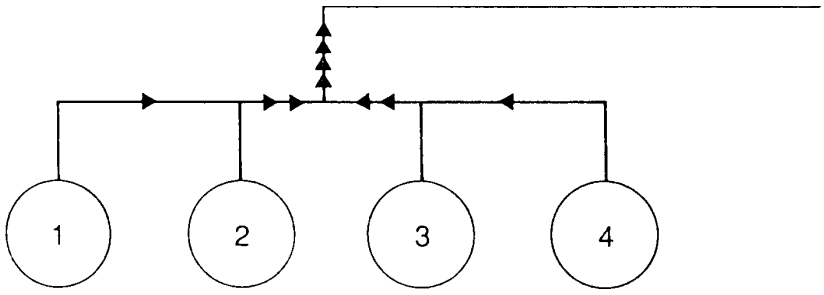
در دیگ بخار مورد مثال، لوله بخاری بدون عایق بطول ۳۰ متر (۱۰۰ فوت) و قطر ۸۰ میلی‌متر (۳ اینچ) حامل بخاری با فشار bar ۷ (۱۰۰psig) و دمای $۱۷۰^{\circ}c$ ($۳۳۸^{\circ}f$)، انرژی حرارتی معادل ۲۷۰۰ پوند را از دست می‌دهد و یک فلانج عایق نشده نصف مبلغ مذکور را از دست می‌دهد.

یک شیر عایق نشده معادل یک متر لوله عایق نشده می‌باشد، در این صورت یک شیر با قطر ۸۰ میلی‌متر (سه اینچ) و فشار bar ۷ (۱۰۰psig) در سال معادل ۸۰ پوند را از دست می‌دهد و یک فلانج عایق نشده نصف مبلغ مذکور را از دست می‌دهد.

[1] Flange



a) روش ناصحیح اتصال دیگ‌های بخار به سیستم توزیع که موجب افزایش بیش از حد تقاضای بخار از دیگ‌های بخار ۳ و ٤ می‌گردد.



b) روش صحیح اتصال دیگ‌های بخار به توزیع، تقاضای بخار مابین همه دیگ‌های بخار بطور مساوی تقسیم می‌گردد.

شکل ۱۰: روشهای اتصال دیگ‌های بخار به سیستم توزیع

٤ ـ لیستی از روشهای صرفه‌جوئی

۱ ـ خروجی دیگ‌های بخار را به‌طور مستقیم از طریق دستگاه سنجش دبی بخار و یا غیرمستقیم از طریق اندازه‌گیری کل آب تغذیه اندازه گرفته و میزان تخلیه از دیگ بخار را تخمین بزنید. نسبت میزان بخار به سوخت مهمترین شاخص بازده دیگ بخار محسوب شده و باید در سطح بالا و مطابق با تجربه نگهداشته شود.

۲ ـ ثبت پیوسته اطلاعات در خصوص عملکرد دیگ بخار موجب می‌شود که علائم خرابی و اشکال در دیگ بخار بسیار سریع آشکار شده و بدین وسیله می‌توان به سرعت، عملیات تصحیحی و تعمیراتی را آغاز نمود. نمونه‌هایی از صفحات ثبت روزانه و خلاصه وقایع ماهانه برای بخار و آب گرم دیگ‌های بخار در اشکال ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ١٤ نمایش داده شده است.

۳ ـ آب تغذیه را اندازه بگیرید.

٤ ـ گاهی اوقات دستگاههای اندازه‌گیر بخار را بازدید نمائید، زیرا که عملکرد آنها به مرور زمان در اثر سایش سوراخهای اندازه‌گیری و یا پیتوت[1] دستگاه اندازه‌گیر سرعت سیال، تغییر می‌کند. دستگاههای اندازه‌گیری بخار فقط در فشارهای تنظیم شده قرائت صحیحی خواهند داشت. در صورتیکه فشار تغییر کند به تنظیم مجدد نیاز است. ضمناً نشانگر حجم بخار نیز باید تصحیح گردد.

۵ ـ خطوط لوله‌ای که در حال کار نمی‌باشند را جدا نموده و لوله‌های اضافی را باز کنید. ارزیابی‌های منظمی باید انجام شود بخصوص اگر لوله‌کشی‌های در حال کار بطور متناوب تغییر کنند.

[1] Pitot

۶ ـ اطمینان حاصل نمائید که تا حد امکان محاسبه انرژی ورودی و خروجی با محفظه دیگ بخار به واقعیت نزدیک است.

۷ ـ روشهای نگهداری از محفظه دیگ بخار را بهبود بخشید. این اقدامات ممکن است موجب بازده بیشتر و انضباط در محوطه دیگ بخار گردد.

۸ ـ روشهای نگهداری و تغییرات در محفظه دیگ بخار بخصوص در نقاطی که به تجهیزات احتراق دیگ بخار، کنترل و ابزار دقیق مربوط می‌شود مورد بررسی و مطالعه قرارگیرد. یک روش منظم برای تمیزکردن سطوح انتقال حرارت و لوله‌های دود دیگ بخار در نظر گرفته شود. هر تجهیزات و یا وسایل ابزار دقیقی که فرسوده شده و از مدار خارج شده‌اند برای مثال کنتور آب، نشانگرهای دما، ثبات‌ها و اکونومایزرها (در صورتی که عملی باشد)، باید تعمیر شده و مجدداً در اسرع وقت در مدار قرار گیرند.

۹ ـ وضعیت لوله‌های محفظه احتراق و مسیر گازهای خروجی باید بطور متناوب بازدید شوند. در دیگ‌های بخار قدیمی که مسیر گازهای خروجی از زیر زمین عبور می‌کند، ممکن است نیاز به بازدید جهت نشتی آب نیز وجود داشته باشد.

۱۰ ـ نشتی‌های بخار را باید بدون هیچ تأخیری برطرف نمود. چنین نشتی‌هایی نه تنها باعث اتلاف انرژی می‌شود، بلکه از نظر ایمنی نیز خطرناک می‌باشند.

۱۱ـ امکان اجرای یک سیستم بازیافت حرارت مورد بررسی قرار گیرد.

برگ گزارش عملیات روزانه – دیگ‌های بخار

تاریخ: | واحد:

زمان	شمارهٔ دیگ بخار	بخار: فشار (bar)	بخار: دما (°c)	آب: دمای ورودی اکونومایزر (°c)	آب: دمای ورودی دیگ بخار (°c)	آب: آب تغذیه (لیتر)	آب: آب تأمین‌شده (لیتر)	گازهای خروجی: دمای خروجی دیگ بخار (°c)	گازهای خروجی: دمای خروجی اکونومایزر (°c)	گازهای خروجی: CO_2 یا O_2 (٪)	بازرسی‌های ضروری: فشار در اتاق احتراق (bar)	بازرسی‌های ضروری: فشار درخروجی دیگ بخار (bar)	سوخت: میزان جریان سوخت (Kg/m^3) یا لیتر	سوخت: میزان برگشتی (Kg/m^3) یا لیتر	سوخت: دمای سیال (°c)	سوخت: دمای سیال برگشتی (°c)	سوخت: خاکستر (کیلوگرم)	هوا: دمای بیرون (°c)	تذکرات
جمع																			
تعداد قرائتها																			
میانگین																			

خلاصه روزانه

نوع سوخت و درجه آن: .... غلظت (۲۰/۲۰) ....

سوخت بکاررفته (مقدار اندازه‌گیری شده) .... با ارزش حرارتی .... kj/kg یا kj/m^3

سوخت بکاررفته .... کیلوگرم سوخت بکاررفته (اصلاح‌شده‌برمبنای دمای ۲۰°c) ....

مقدارتبخیر: جمع‌کل .... کیلوگرم تبخیر در هر کیلوگرم سوخت .... کیلوگرم

خاکسترها: جمع کل؟ .... کیلوگرم = ... ٪ سوخت

آب تغذیه: قرائت کنتور (شروع روز) .... کیلوگرم

قرائت کنتور (پایان روز) .... کیلوگرم

اختلاف .... کیلوگرم

آب تامین‌شده .... = kg .... ٪ تبخیر

زمان تخلیه (کل) .... مقدار ....

اپراتورهای در حال کار	شیفت ۱	شیفت ۲	شیفت ۳	توضیحات:

شکل ۱۱: نمونه برگ گزارش عملیات روزانه برای دیگ‌های بخار

برگ گزارش عملیات روزانه – دیگ‌های آب گرم

تاریخ:										واحد:								
زمان	شمارهٔ دیگ بخار	آب					گازهای خروجی			بازرسی‌های ضروری		سوخت					هوا	تذکرات
		فشار کار (bar)	دمای خروجی دیگ بخار (°c)	دمای ورودی اکونومایزر (°c)	دمای ورودی دیگ بخار (°c)	قرائت میزان آب Kg/m³ یا لیتر	دمای خروجی دیگ بخار (°c)	دمای خروجی اکونومایزر (°c)	CO_2 یا O_2 (٪)	فشار در اتاق احتراق (bar)	فشار در خروجی دیگ بخار (bar)	میزان جریان سوخت Kg/m³ یا لیتر	میزان برگشتی Kg/m³ یا لیتر	دمای سیال (°c)	دمای سیال بازگشتی	خاکستر (کیلوگرم)	دمای بیرون (°c)	
جمع																		
تعداد قرائتها																		
میانگین																		

خلاصه روزانه

نوع سوخت و درجه آن: .... غلظت (۲۰/۲) ....
سوخت بکاررفته (مقدار اندازه‌گیری شده) .... با ارزش حرارتی .... kj/kg یا kj/m³
سوخت بکاررفته .... کیلوگرم سوخت بکاررفته (اصلاح‌شده بر مبنای دمای ۲۰°c) ....
مقدار تبخیر: جمع‌کل .... کیلوگرم
خاکسترها: جمع‌کل .... کیلوگرم = ... ٪ سوخت

مقدار کل آب در گردش .... لیتر
مقدار متوسط اختلاف دما .... (°c)
کل حرارت خروجی .... کیلوژول
کل حرارت به ازاء هر کیلوگرم سوخت .... کیلوژول
آب تأمین‌شده .... لیتر = ... ٪ درصد از کل

اپراتورهای در حال کار	شیفت ۱	شیفت ۲	شیفت ۳	توضیحات:

شکل ۱۲: نمونه برگ گزارش عملیات روزانه برای دیگ‌های آب گرم

برگ خلاصه وضعیت هفتگی ـ دیگ‌های بخار

هفته‌ای که آغاز می‌شود				واحد			
تاریخ	سوخت مصرف‌شده (کیلوگرم)	خاکستر (کیلوگرم یا ٪)	آب بخارشده	تبخیربه‌ازاء هرکیلوگرم یامترمکعب از سوخت (کیلوگرم)	آب تأمین‌شده (٪ از کل)	ساعات بهره‌برداری	تذکرات
جمع کل							
تعداد قرائت							
میانگین							

مقدار کل سوخت مصرف‌شده: .... Kg به قیمت .... £/Kg
.... لیتر به قیمت .... پوند بر لیتر
(اصلاح شده بر مبنای دما ۲۰°c) (یا پوند بر مترمکعب)
هزینه‌های کل سوخت هفتگی .... پوند
هزینه‌های سوخت برای تبخیر ۱۰۰۰ کیلوگرم آب .... پوند
توضیحات خلاصه هفتگی ....
....

شکل ۱۳: نمونه برگ خلاصه وضعیت هفتگی برای دیگ‌های بخار