



مکانیزم ها در دیگ های بخار

علیرضا مجیدی فر

دانشجوی کارشناسی، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد، شهرکرد، ایران

فرهاد رئیس زاده

استادیار، مرکز تحقیقات انرژی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد، شهرکرد، ایران

چکیده

دیگهای بخار اهمیت ویژه ای در صنعت دارند و به عنوان بزرگترین منبع انرژی برای صنعت در جهان امروزی به شمار می روند. این دستگاه ها انرژی لازم برای تبدیل فاز آب به بخار را از انواع سوختهای فسیلی، تشعشعی و یا الکتریکی فراهم می کنند. در این تحقیق سعی می شود آشنایی بیشتری از مکانیزم ها در دیگ های بخاری اعم از لوله آتشی، لوله آبی و ساختار های آنها انجام شود. همچنین مکانیزم های جوشش، انتقال و جلوگیری از آن، کندانس و سطح داخلی لوله های کندانس و بدست آوردن مقدار کندانس، سیستم تخلیه، انتخاب سختی گیر و طرز کار آن، انواع دی اریاتور و طرز عملکرد آن ها مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت راهکارهایی برای بالا نگه داشتن راندمان دیگ بخار ارائه شده است.

واژگان کلیدی: جوشش، کندانس، تخلیه، دی اریاتور، سختی گیر



1- مقدمه

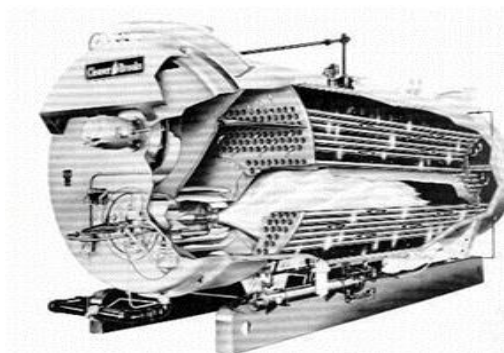
دیگ بخار کاربرد فراوان در صنایع مختلف دارد. بخار در حقیقت یک نوع انرژی به شمار می رود که برای تامین گرما و حرارت در صنایع گوناگون کاربرد دارد. دارا بودن ظرفیت حرارت بالا، قیمت مناسب همراه با راندمان زیاد و قابلیت حمل آسان، از جمله مهمترین مزیت های بخار است که آن را به یک عنصر مهم در صنایع گوناگون تبدیل کرده است. از کاربردهای آن در صنایع مختلف می توان به صنایع نفتی، پتروشیمی و پالایشگاه، صنایع غذایی، صنعت چاپ، نوشیدنی، صنعت قیر، شیمیایی و داروسازی، صنایع لبنی، دریانوردی، صنایع بسته بندی و پلاستیک و تولید ظروف یکبار مصرف، بسته بندی سخت و صنعت پلاستیک، صنایع لاستیک سازی و تولید کامپوزیت، صنایع پارچه و بافت و خشکشویی، صنایع چوب و الوار و کاغذ و به طور کلی هر صنعتی که در انجام فرآیندهای خود به گرمایش یا شستشو و ضدعفونی نیاز دارد، اشاره کرد. (دیناروند، 1391).

آب و پساب همواره سوختی کم هزینه و قابل بازیابی بوده که بخار حاصله و تولیدشده از این فرایند می تواند سوخت کامل تجهیزات اکثر کارخانجات را تامین کند. نکته حائز اهمیت این فرایند این است که بخارهای مصرفی تجهیزات به طور کامل از بین نمی روند، بلکه پس از گرم کردن تجهیزات، خود سرد شده و به اصطلاح کندانس می شود و به شکل مایع یا آب مقطر دوباره مورد استفاده قرار می گیرد (کرد و همکاران، 1395). بنابراین با توجه به اهمیت و کاربرد فراوان دیگهای بخار، به نظر می رسد بررسی و آشنایی بیشتر فرآیندهای دیگ بخار امری لازم و ضروری باشد.

2- انواع دیگ بخار از نظر ساختمانی

2-1- دیگ های بخار لوله آتشی

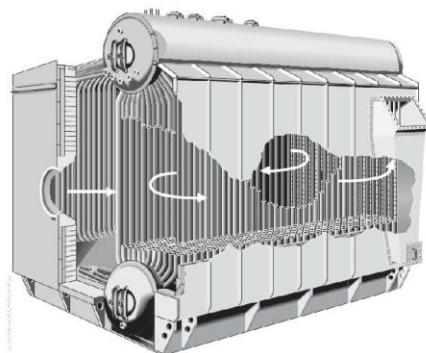
ساختمان این دیگ بخار که در شکل (1) نشان داده شده است، از یک محفظه احتراق و یک مخزن آب تشکیل شده است و در داخل مخزن، تعدادی لوله موازی با یکدیگر تعبیه شده است که وظیفه آن، انتقال حرارت دود ناشی از احتراق و همچنین هدایت گرما به آب است. آب داخل مخزن در اثر عبور گاز داغ در داخل لوله ها گرم می شود. از این نوع دیگ بخار بیشتر در ظرفیت های پائین و نیز برای تولید آب گرم، استفاده می شود.



شکل 1- نمایی از دیگ بخار لوله آتشی

2-2- دیگ های بخار لوله آبی

ساختمان این نوع دیگ بخار که در شکل (2) نشان داده شده عبارت است از یک محفظه احتراق و تعدادی لوله که در آنها آب جریان دارد. سوخت با حجم مناسبی از هوا مخلوط شده و در داخل محفظه احتراق می سوزد. سوخت در یک محفظه ای احتراق مشتعل شده و گرمای حاصل از آن از طریق تابشی و همرفتی به دیواره خارجی تیوبهای حاوی آب منتقل شده و آب درون تیوبها گرم می شود. تقریباً همه دیگ های بخار از این نوع، یک مخزن بنام درام، برای جدا کردن آب و بخار دارند (کرد و همکاران، 1395).



شکل ۲ - نمایی از دیگ بخار لوله آبی

3- جنس لوله های دیگ بخار

انتخاب جنس فلز لوله دیگ بخار بستگی به شرایط کاری آن به ویژه درجه حرارت و فشار داخل آن خواهد داشت. افزایش درجه حرارت از حد مجاز، حتی در مقادیر کمی در دراز مدت قادر است که ایجاد تغییرات ساختاری در مواد لوله نموده و کیفیت خواص مکانیکی آن را پایین آورد. ارتباط تنش وارده به جداره لوله تحت فشار داخلی (P) و قطر متوسط آن (D_m) و ضخامت لوله (t) به صورت رابطه (1) خواهد بود (Luly and Mitchell, 1943):

$$\sigma_H = \frac{PD_m}{2t} \quad (1)$$

معمولاً نوع آلیاژ بکار رفته در لوله های لوله آبی و سوخت پاش از جنس فولاد کربنی انتخاب می شود که فولاد کربنی تا درجه حرارت 450 درجه سانتیگراد در دیگ بخار مقاوم است که درجه حرارت آب حداکثر در لوله های لوله آبی بسته به نوع دیگ بخار حدود 350 درجه سانتیگراد می باشد. در لوله های فوق گرم و بیش گرم درجه حرارت بخار بالا و در حدود 540 درجه سانتیگراد (در بیش گرم کن) می باشد و تحت فشار بالاتری نیز قرار دارند که از فولادهای آلیاژی جهت جنس لوله ها استفاده می شود زیرا تحت این شرایط فولاد کربنی ساده مقاوم نخواهد بود (Luly and Mitchell, 1943).

4- جوشش

در اثر جوشش حبابهای بخار تشکیل شده، این پدیده باعث ایجاد فضای خالی می شود. به علت سرعت زیاد، این عمل باعث ایجاد آشفستگی در نزدیک سطوحی که حرارت داده می شوند می شود که معمولاً نرخ انتقال حرارت را افزایش می دهد. (Wohlfarth and Kohan, 1943)

1-4 مکانیزم جوشش

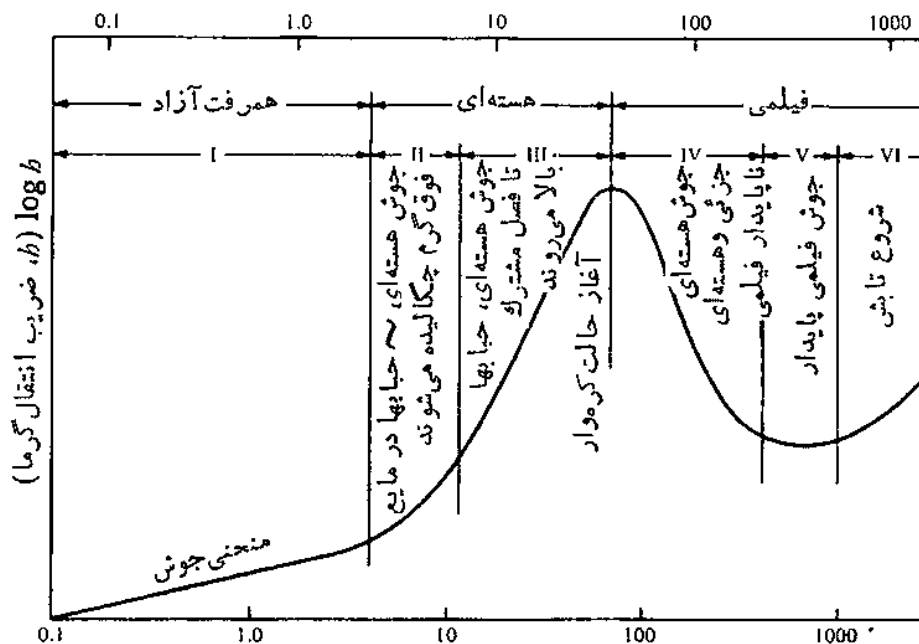
وقتی سطحی در تماس با مایع است و دمای سطح بیشتر از دمای اشباع مایع است جوشش اتفاق می افتد و شار گرمایی به اختلاف دمای سطح و دمای اشباع بستگی دارد. وقتی سطح گرما دیده در زیر سطح آزاد مایع غرق باشد فرآیند را جوش مخزنی نامند. اگر دمای مایع کمتر از دمای اشباع باشد فرآیند را جوش زیر سرد و یا موضعی نامند. چنانچه دمای مایع برابر دمای اشباع باشد فرآیند را جوش اشباع یا کپه ای گویند (Davis et al, 1995).

در شکل (3) رژیمهای مختلف جوشش نشان داده شده اند که در آن داده های شار گرمایی نسبت به اختلاف دما از سیمی پلاتینی رسم شده اند که بطریق الکتریکی گرم و در آب غوطه ور است. در ناحیه I جریانهای جابجایی آزاد دلیل حرکت مایع در نزدیک سطح است. در این رژیم مایع نزدیک سطح گرما دیده کمی فوق گرم است و پس از بالا رفتن از سطح تبخیر می شود.

در ناحیه II حبابها روی سطح سیم شروع به تشکیل شدن کرده، پس از کنده شدن از سطح در مایع پخش می شوند. این ناحیه آغاز جوش هسته ای را نشان می دهد.



گرمای باید قبل از رسیدن به مایع و انجام فرآیند جوش از این فیلم هدایت شود. مقاومت گرمایی این فیلم موجب کاهش شار گرمایی می شود و این پدیده در ناحیه IV ناحیه جوش فیلمی نشان داده شده است. این ناحیه نماینده گذار از جوش هسته ای به جوش فیلمی است و ناپایا است. بالاخره در ناحیه V با جوش فیلمی پایا روبرو می شویم. برای آنکه جوش فیلمی پایا داشته باشیم باید دماهای سطحی بالا باشند و در این حالت ممکن است بخش اعظم گرمای از دست رفته از سطح ناشی از تابش گرمایی باشد همانطور که در ناحیه VI مشخص شده است.



شکل 3- نمودار منحنی جوش در مکانیزم

4-2- جوش هسته ای

در جوش هسته ای، از انبساط گاز یا بخار محبوس شده در حفره های کوچک سطح حبابهایی ایجاد می شود. حباب ها تا اندازه ای معین بسته به کشش سطحی در میان سطح مایع، بخار دما و فشار، بزرگ می شوند. حباب ها، بسته به اختلاف دما، ممکن است روی سطح متلاشی، منبسط و یا از سطح جدا شوند و در بدنه مایع انتشار یابند و یا در دماهای به حد کافی بالا و قبل از انتشار تا سطح بالا روند. ساز و کار اصلی انتقال گرما در جوش موضعی آشفتنی شدید در سطح انتقال گرما است که موجب آهنگ بالای انتقال گرما در جوش می شود. ممکن است در جوش اشباع یا کپه ای، حباب ها به دلیل کنش شناوری از سطح کنده و داخل مایع شوند. در این حالت آهنگ انتقال گرما هم تحت تأثیر آشفتنی ناشی از حباب ها و هم انتقال انرژی بخار به داخل مایع است (Panigrahi and Subramanian, 2015).

آزمایش ها نشان داده اند که حباب ها همواره با مایع اطراف در تعادل ترمودینامیکی نیستند، یعنی دمای بخار داخل حباب ضرورتاً برابر دمای مایع نیست. اگر حبابی کروی در نظر گرفته شود نیروهای فشاری مایع و بخار باید با نیروی کشش سطحی در میان سطح مایع- بخار موازنه شود. نیروی فشاری روی سطح و کشش سطحی در طول میدان سطح عمل می کند. (Davis et al, 1995).

$$\pi r^2 (P_V - P_L) = 2\pi r \sigma \quad (2)$$

$$P_V - P_L = \frac{2\sigma}{r} \quad (3)$$



TDF-5

TDF فاکتور مهمی در طراحی می‌باشد زیرا سطح داخلی لوله‌ها در هر زمانی که انتقال حرارت کافی تأمین می‌شود چنانچه در معرض بخار خشک باشد، به علت ضریب انتقال حرارت پایین بخار دچار فراگرمی می‌شود، یا اینکه تاول می‌زند. ماکزیمم TDF بار مجاز به وسیله رنج حجمی از 80٪، در یک دیگ بخار با فشار کاری 250 psi تا 50٪ در 250 psi در دیگ‌های بخار لوله مستقیم قابل تغییر است (Panigrahi and Subramanian, 2015). معادله زیر برای بدست آوردن رابطه TDF با فشار می‌باشد:

$$TDF_w = \frac{(TDF_v)v_f}{v_g - (TDF_w)v_g} \quad (4)$$

$$TDF_w = 0.8 - 0.000133(P - 250) \quad (5)$$

6- تخلیه

فرایندی که برای رفع مواد جامد موجود در دیگ بخار استفاده می‌شود تخلیه نامیده می‌شود. با استفاده از تخلیه ترتیبی مقدار مواد جامد تغییر می‌کند که باعث نوسان در آب دیگ بخار می‌شود که نتیجه آن تغییر در مقدار و پخش بخار می‌شود که خود باعث افزایش غلظت مواد جامد است. در دیگ‌های بخار لوله‌آبی، تخلیه ترتیبی می‌تواند در گردش آب دیگ بخار مؤثر باشد از این رو چنانچه از درام یا هدر پایینی گرفته می‌شود بایستی کنترل دقیق شود. تخلیه ترتیبی دارای مدت زمان کوتاه با دبی آب بالا می‌باشد که می‌تواند رسوبات ته نشین شده را از قسمت‌های پایینی دیگ بخار خارج کند. (Myroniuk et al, 2020).

7- کندانس در دیگ‌های بخار

7-1- کندانس

بخار بعد از اینکه انرژی خود را از دست می‌دهد، از فاز گازی (بخار) به فاز مایع (آب) تبدیل می‌شود به آب بدست آمده از میعان، آب کندانس یا چگالیده می‌گویند (Holman, 1986).

7-2- لوله‌های اصلی بخار

لوله‌های بخار در هنگام ورود بخار به آنها برای شروع کار شبکه آب کندانس بیشتری نسبت به حالت در حال کار شبکه تولید می‌کنند که به آن (Warm up) یا زمان شروع شبکه می‌گویند (Arandelovic et al, 2020).

مقدار آب کندانس زمان شروع کار شبکه از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Q = \frac{W \times (T - t) \times S_p \times 60}{L \times m} \quad (6)$$

Q = مقدار آب کندانس

T = درجه حرارت بخار

L = حرارت نهان بخار

W = وزن لوله و کلیه اتصالات مسیرهای اصلی

t = درجه حرارت هوای اطراف لوله

m = زمان شروع کار شبکه دقیقه



S_p = حرارت ویژه فولاد

8- انتقال

به انتقال هر نوع ناخالصی از فاز آب به فاز بخار، (در درام دیگ بخار در جایی که بخار از آب جدا می‌شود) اطلاق می‌شود. این ناخالصی ممکن است به صورت جامد، مایع یا گاز باشد. آب دیگ بخار حاوی ذرات جامد بوده که این انتقال سبب رسوب و خوردگی در تجهیزات و لوله‌های بعد از دیگ بخار مانند سوپر هیت‌ر می‌شود. این مشکلات شامل ایجاد رسوب سیلیسی بر روی پره‌های توربین نیز می‌شود (شکوهمند، 1380)

کار کردن در پارامترهایی بیشتر از نرخ طراحی می‌تواند باعث افزایش انتقال شود. تقاضای افزایش نرخ بخار عملیات باعث کاهش فشار هد بخار می‌شود و در نتیجه فشار درام دیگ بخار کاهش می‌یابد. و این به نوبه خود باعث انبساط سریع مخلوط آب و بخار در دیگ بخار می‌شود. این می‌تواند بطور قابل توجهی سطح درام را بالا ببرد و باعث تولید انتقال شود (Mallick, 2022)

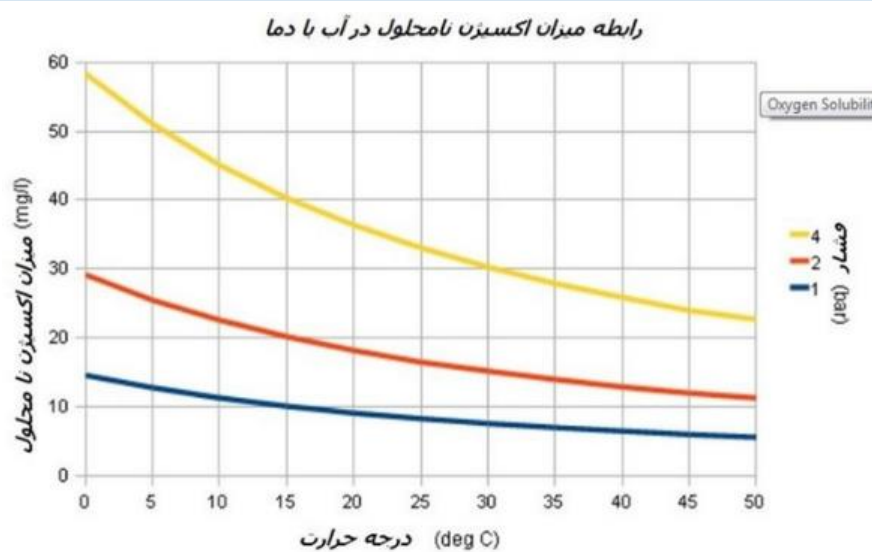
8-1- چگونگی جلوگیری از انتقال

دیگ‌های بخار کم ظرفیت، کم فشار (معمولاً دیگ‌های بخار لوله آتشی) به صورت عمده بر روی سیستم جداسازی ثقلی بخار و آب تکیه دارند. در فشار 200 Psig دانسیته آب 115 برابر بزرگتر از بخار است، چون بخار بطور خاص در گرم کردن استفاده می‌شود احتیاج به خلوص بخار، خیلی لازم نمی‌باشد و نصب یک لوله خشک حدود بالای درام برای بهبود بخشیدن جداسازی آب و بخار معمولاً رضایت بخش می‌باشد (Ortiz, 2011).

9- دی اریتور

دی اریتور یا هوازدا وظیفه جداسازی گازهای محلول در آب را دارد که دلیل اصلی خوردگی در دیگ‌های بخار هستند. خوردگی لوله‌های آتش خوار دیگ‌های بخار فایرتیوب و خوردگی آلیاژ بخش‌های مختلف آن یکی از مشکلات اساسی دیگ‌های بخار می‌باشد. خوردگی آلیاژ در نهایت منجر به سوراخ شدن و نشتی در دیگ بخار خواهد شد و مشکلات و خسارت‌های زیادی را به تاسیسات وارد می‌کند. عوامل و فاکتورهای زیادی در خوردگی آلیاژ تاثیر دارند نظیر دما، سرعت و میزان اکسیژن محلول در آب (Richardson et al, 2013).

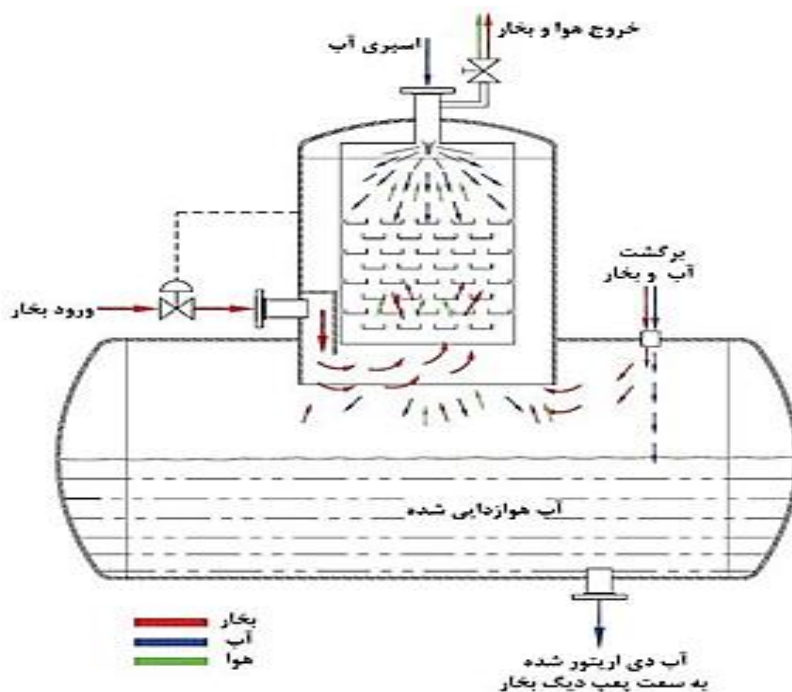
افزایش دما و حلالیت گازها در آب با هم نسبت عکس دارند. یعنی با افزایش دمای آب میزان حلالیت گاز در آب کم می‌شود. حلالیت گازها در آب با افزایش فشار بیشتر و با کاهش فشار کمتر خواهد شد. اصول کارکرد یک دی اریتور بر پایه افزایش دما و کاهش فشار هست. دی اریتور آب را در تماس با بخار گرم کرده باعث افزایش دمای آن شده، همچنین فرآیند کاهش دمای بخار باعث ایجاد خلا نسبی شده در نتیجه گازهای محلول در آب از آن جدا می‌شوند. مطابق شکل (4) هرچه دمای آب بالاتر باشد اکسیژن کمتری در آب وجود دارد (Woodruff et al, 1998).



شکل 4 - رابطه میزان اکسیژن نامحلول در آب با دما

9-1- دی اریتور سینی دار

دی اریتور سینی دار که در شکل (5) نمایش داده شده است دارای یک بخش هوازداپی در بالای مخزن ذخیره کننده آب بویلر است. آب بویلر وارد بخش عمودی هوازداپی می شود و از روی سینیهای منفذ دار به پایین دی اریتور جریان پیدا می کند. محفظه ی پایین دی اریتور مانند یک منبع تغذیه برای آب مصرفی دیگ بخار عمل می کند (Richardson et al, 2013).

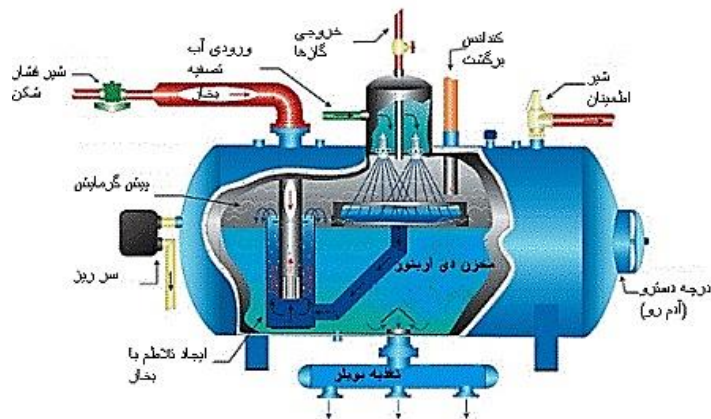


شکل 5- دی اریتور سینی دار

9-2- دی اریتور اسپری شونده



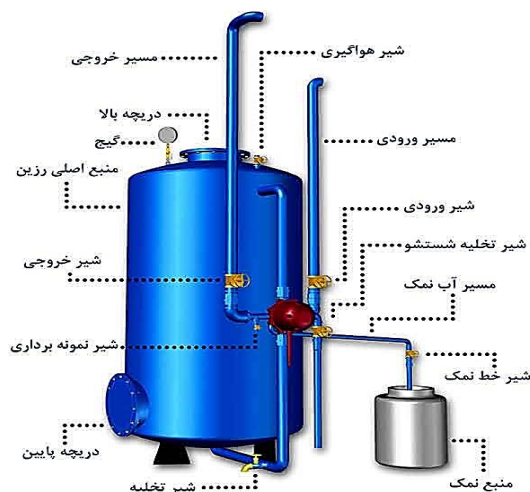
نمایی از دی اریتور اسپری شونده در شکل (6) نشان داده شده است. آب توسط اسپری به محفظه پر از بخار دی اریتور پاشیده می شود و به طور مستقیم با بخار تماس پیدا می کند. این نوع دی اریتور عملیات پیش گرمایش و هوازایی را انجام می دهد. آب اسپری شده ابتدا توسط بخار گرم شده و در سمت چپ قرار می گیرد. آب گرم شده توسط پمپ دوباره اسپری می شود و مستقیماً با بخار ورودی به محفظه تماس پیدا می کند و هوازایی می شود. در این مرحله در محفظه سمت راست ذخیره شده و برای مصرف و پمپ دیگ بخار آماده می گردد (Woodruff et al, 1998).



شکل 6 - نمایی از دی اریتور اسپری کننده

10- انتخاب سختی گیر مناسب

سختی گیر های تبادل یونی که در شکل (7) به ساختار آن اشاره شده است، بر اساس جایگزینی یونهای سخت مثبت (کلسیم، منیزیم) در آب سخت با اتم های سدیم مثبت، که در رزین موجود سختی گیر است، کار می کنند (شکوهمند، 1380). این رزین ها باید به طور متناوب احیا (backwash) گردند تا از رسوب معدنی سخت در آنها، جلوگیری گردد. که با عبور دادن از آب نمک طی مدت زمان معینی قابل انجام است.



شکل 8 - نمایی از سیستم و مکانیزم تخلیه

ظرفیت سختی گیر با استفاده از روابط 6 تا 9 محاسبه می شود:

$$C = \frac{TH_{PPM} \times V_{GPM} \times T_{min}}{17.1}$$

(6)



که در آن:

$$TH_{PPM} = \text{مقدار سختی آب (PPM)}$$

(7)

$$V_{GPM} = 0.01 \times \frac{Q_{BOILER} \left(\frac{Btu}{hr} \right)}{10000}$$

(8)

$$T_{min} = \text{تعداد روز} \times 60$$

(9)

C: ظرفیت سختی گیر بر حسب گرین

Q: دبی آب وارده به سختی گیر بر حسب متر مکعب در ساعت

T: زمان بین 2 احیا که بر اساس ساعت بین 8 تا 72 انتخاب گردد

TH: میزان سختی آب ورودی بر حسب میلی گرم بر لیتر



11- جمع بندی

سولفات سدیم یک الکترولیت قوی است، بنابراین با آب تجزیه می شود. رسانایی آن در حدود یک صدم فولاد است و در نتیجه باعث ایجاد مانع در جریان گرما می شود. حتی یک لایه نازک از این رسوب بر روی سطوح فلزی ممکن است راندمان دیگ بخار را تا ۲۰٪ کاهش دهد.

انتقال حرارت در دیگ به دلیل لایه های رسوبی که به عنوان عایق عمل می کنند کاهش می یابد. با استفاده از روابط مربوط برای ظرفیت سختی گیرها و رسیدگی منظم از ضررهای ایجاد لایه و کاهش راندمان جلوگیری به عمل آورد.

یکی از راه های دیگر برای بالا نگه داشتن میزان راندمان دیگ بخار ایجاد محافظ لایه دایم است با استفاده از موارد زیر است:

1- هیدروکسید آمونیوم

2- هیدرازین



12- منابع

- دیناروند م. بررسی علل اورهیت شدن دیواره آبی بویلر های یکبار گذری که تحت خلاء کار می کنند نمونه موردی بویلر اصلی واحد 6 نیروگاه رامین اهواز. اولین کنفرانس بین المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی، تهران، ایران
- شکوهمند ح، پیرمحمدی ع، مطالعه توزیع دما در لوله های آبی بویلرهای نیروگاهی در حالت پایدار و حالت گذرا. مجله مهندسی مکانیک دانشگاه تهران. 1380، د. 35، ش. 3، ص. 307-325.
- کرد س، گلستانی نسب ا، مولایی نژاد ح. فرایند تولید بخار در بویلرها و کوره های بخار. چهارمین کنگره سراسری فناوریهای نوین ایران با هدف دستیابی به توسعه پایدار، تهران، ایران
- Arandelović M, Milovanović N, Đorđević B, Sedmak S, Martić I. Reparation, inspection and damage analysis of steam boiler. Weld. Mater. Test. 2020;3:9-12.
- Davies DR, Richardson C, Roberts AC. POWER STATION DESIGN. InProceedings of the Institution of Civil Engineers-Civil Engineering 1995 Feb (Vol. 108, No. 5, pp. 15-29). Thomas Telford-ICE Virtual Library.
- Holman JP. Heat transfer. McGraw Hill; 1986.
- Luly EL, Mitchell JR. The modern power station. Journal of the Royal Society of Arts. 1943 Sep 17;91(4648):545-62.
- Mallick AR. Practical boiler operation engineering and power plant. PHI Learning Pvt. Ltd.; 2022 Nov 1.
- Myroniuk K, Voznyak O, Yurkevych Y, Gulay B. Technical and economic efficiency after the boiler room renewal. InInternational Scientific Conference EcoComfort and Current Issues of Civil Engineering 2020 Aug 17 (pp. 311-318). Cham: Springer International Publishing.
- Ortiz FG. Modeling of fire-tube boilers. Applied Thermal Engineering. 2011 Nov 1;31(16):3463-78.
- Panigrahi BS, Ganapathysubramanian K. Boiler Water Treatment. InMineral Scales and Deposits 2015 Jan 1 (pp. 639-655). Elsevier.
- Richardson I, Addison S, Thompson G. Steam purity considerations in geothermal power generation. InProceedings of the New Zealand Geothermal Workshop 2013.
- Wohlfarth R, Kohan AL. Boiler operator's guide. McGraw-Hill Education; 2021.
- Woodruff EB, Lammers HB, Lammers TF. Steam-plant operation. New York: McGraw-Hill; 1998 Apr 1.



Mechanism in steam boilers

Alireza Majidifar

Departemant of of Mechanical Engineering,
Shahrekord Branch, Islamic Azad University,
Shahrekord, Iran

Farhad Reais zadeh¹

Energy and Environment Research Center, Shahrekord
Branch, Islamic Azad University,
Shahrekord, Iran

Abstract

Steam boilers have a special importance in industry and are considered as the biggest source of energy for industry in world. These devices provide the necessary energy to convert the liquid phase into vapor from all kinds of fossil fuels, radiation or electricity. In this research, an attempt is made to learn more about the mechanisms in boilers, including fire tubes, water tubes and their structures. Also, the mechanisms of boiling, transmission and its prevention, condensation and the internal surface of condensate pipes and obtaining the amount of condensate, the drainage system, the selection of hardener and its operation, the types of deaerators and their operation have been investigated. Finally, solutions are provided to keep the efficiency of the boiler high .

Keywords: : "Boiling", "condensation", "Discharge", "Transfer", "De-irater", "Hardener"