Engineered Solution by
Farda Energy Systems

بازیابی حرارت از بلودان بویلر بخار

سیستم‌های انرژی فردا

طراحی، مشاوره، تامین و اجرای
راهکارهای مهندسی شده
برای تولید، انتقال و تبدیل انرژی حرارتی و آب

بازیابی حرارت از بلودان بویلر بخار

farda-es.com

farda_energysystems

لزوم کنترل TDS در بویلرهای بخار

درحالیکه یک بویلر مشغول تولید بخار می‌باشد، غلظت تمامی ناخالصی‌های موجود در آب تغذیه آن و هر آنچه که قابلیت تبخیر نداشته باشد، افزایش پیدا می کند.

با افزایش بیشتر و بیشتر میزان ذرات جامد محلول، حباب‌های بخار پایدارتر شده و با رسیدن به سطح آب بویلر نمی ترکند. درنهایت شرایطی (بسته به فشار، اندازه و بار بویلر) ایجاد می‌شود که بخش عمده‌ای از فضای بخار بویلر با حباب ها پر شده وکف ناشی از آن به خط اصلی بخار راه پیدا می کند.

این حالت دو پیامد نامطلوب اصلی دارد:
در درجه اول، بخار خروجی در این وضعیت دارای رطوبت زیادی می‌باشد.
در کنار این ایراد اصلی، بخار تولید شده حاوی آب بویلر با غلظت بالای ذرات جامد محلول و احتمالا معلق خواهد بود. این ذرات جامد باعث بروز آسیب در شیرهای کنترل، مبدل های حرارتی و تله های بخار می شوند.

کنترل دقیق میزان TDS آب بویلر در کنار توجه به عدم بالا بودن خاصیت قلیایی آب و عدم حضور چربی ها و روغن ها در آب تغذیه، برای به حداقل رساندن احتمال تشکیل کف در فضای بخار بویلر و حمل محتویات آن به خط اصلی بخار، فعالیتی حیاتی در بهره برداری بویلرهای بخار می باشد.

میزان TDS مورد نیاز

غلظت واقعی ذرات جامد محلول که در آن تشکیل کف آغاز می‌شود از بویلری به بویلر دیگر متفاوت است. بویلرهای پوسته‌ای متداول بطور عادی با TDS درمحدوده 2000ppm درمورد بویلرهای بسیار کوچک و تا 3500ppm در مورد بویلرهای بزرگتر مورد بهره برداری قرار می گیرند. میزان TDS مناسب برای بویلرهای یکپارچه سه پاس 3000ppm تا 3500ppm می باشد.
البته به شرطی که پارامترهای زیر رعایت شده باشند:
* بویلر در نزدیکی فشار طراحی خود مورد بهره‌برداری قرار گیرد،
* شرایط بار بویلر همراه با تغییرات گسترده نباشد،
* سایر شرایط موردنیاز آب بویلر به درستی کنترل شده باشند.
زیرآب زنی بویلر برای حفظ سطوح TDS اشاره شده، به اطمینان از تولید بخار تمیز و خشک و انتقال آن به مدار مصرف کمک شایان توجهی می کند.

جدول زیر راهنمایی برای حداکثر مقادیر مجاز TDS آب در انواع بویلرها را عرضه می دارد. مقادیر بالاتر از آنچه فهرست شده می تواند مشکلاتی را در پی داشته باشد.

نوع بویلر	حداکثر TDS ppm
دوپاس فایرتیوب	4500
سه پاس فایرتیوب	3000-3500
واترتیوب فشار پایین	2000-3000
واترتیوب فشار متوسط	1500
واترتیوب فشار بالا	1000

محاسبه میزان زیرآب زنی موردنیاز

برای محاسبه میزان مناسب زیرآب‌زنی برای یک بویلر، اطلاعات زیر باید در دسترس باشند:

* میزان TDS آب بویلر * میزان TDS آب تغذیه بویلر * ظرفیت تولید بخار بویلر

مهمترین پارامتر تاثیرگذار در انتخاب یک سیستم زیرآب‌زنی، حداکثر ظرفیت تولید بخار بویلر در بار کامل می‌باشد.

با در اختیار داشتن اطلاعات فوق، میزان زیرآب‌زنی مورد نیاز را می‌توان از معادله زیر محاسبه نمود:

$$\text{نرخ زیرآب زنی} = FS/(B-F)$$

که در اینجا

F = میزان TDS آب تغذیه برحسب ppm

S = نرخ تولید بخار برحسب kg/h

B = میزان TDS مورد نیاز آب بویلر برحسب ppm

به عنوان مثال، اگر اطلاعات زیر برای یک بویلر 10t/h با فشار کاری 10barg در دسترس باشد:

حداکثرTDS مجاز بویلر = 2500ppm

TDS آب تغذیه بویلر = 250ppm

نرخ زیرآب‌زنی به صورت

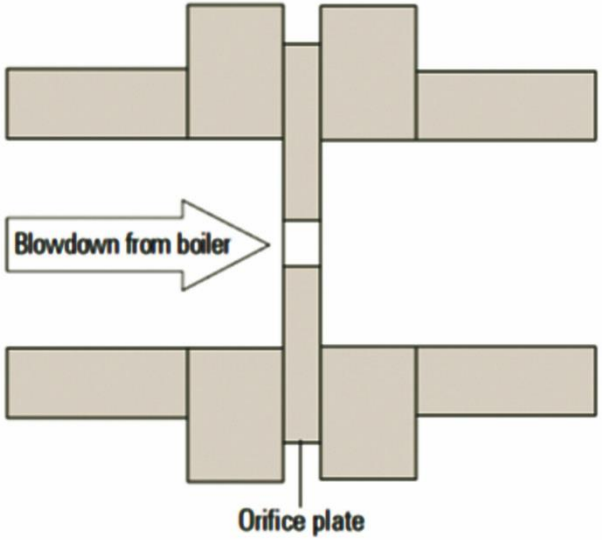
$$(250*10000)/(2500-250)=1111 \text{ kg/h}$$

به دست خواهد آمد.

همانطور که گفته شده، زیرآب‌زنی پیوسته، موثرترین روش خارج‌سازی ذرات جامد محلول اضافی از سیستم بویلر بخار می‌باشد. اما این روند محافظتی منجر به یک اتلاف حرارتی ثابت و هزینه‌بر نیز می‌شود، مگر اینکه یک مجموعه بازیاب حرارت از فرآیند زیرآب‌زنی در مدار گنجانده شود.

کنترل دبی زیر آب زنی

چند روش متفاوت برای کنترل دبی زیرآب‌زنی وجود دارد. ساده‌ترین راه، استفاده از یک اریفیس می‌باشد. اندازه اریفیس را می‌توان بر اساس دو پارامتر دبی و افت فشار محاسبه کرد. بزرگترین مشکل استفاده از یک اریفیس برای کنترل دبی زیرآب‌زنی این است که نمی‌توان اریفیس را تنظیم نمود و به همین خاطر طراحی اریفیس بر اساس مجموعه‌ای مشخص و معین از پارامترها به خوبی عمل خواهد کرد.
چنانچه قرار باشد نرخ تولید بخار بویلر افزایش یابد، اریفیس آب کافی از خود عبور نمی‌دهد و سطح TDS آب بویلر افزایش پیدا می‌کند. در نتیجه در فضای بخار بویلر کف شکل می‌گیرد و حمل ذرات و آب توسط بخار اتفاق می‌افتد.



همچنین اگر نیاز باشد نرخ تولید بخار کم شود، مقدار بسیار زیادی آب از اریفیس عبور کرده و انرژی فراوانی هدر خواهد رفت.

آبی که از بویلر تخلیه می شود در دمای اشباع قرار دارد و در حین عبور از اریفیس افت فشاری را تحمل می‌کند که تقریباً برابر با کل فشار بویلر می باشد. این بدان معنی است که مقدار قابل‌توجهی از آب به بخار پاشش می یابد و حجمش با ضریبی فراتر از ۱۰۰۰ افزایش پیدا می‌کند. این تبدیل حالت سریع و افزایش حجم ناگهانی می‌تواند باعث بروز سایش و خوردگی در اریفیس گردد. در نتیجه هم اندازه و هم خصوصیات جریان (ضریب تخلیه) اریفیس افزایش پیدا خواهند کرد و این به معنای افزایش دبی زیرآب‌زنی خواهد بود.

بخار به عنوان یک گاز می‌تواند با سرعت بسیار بیشتری از آب که در حالت مایع قرار دارد، جابه جا شود. اما فرصت و شانس کافی جدا شدن این دو از یکدیگر وجود نخواهد داشت. در نتیجه قطرات آب با سرعت بالایی همراه با بخار در لوله‌ها حرکت کرده و سبب خوردگی بیشتر و احتمالاً ضربه قوچ در لوله‌کشی‌ها یا اجزای پایین دست می‌گردند.

با افزایش فشار کاری بویلر، مشکلات ناشی از پاشش بخار هم افزیش می یابند. همچنین باید بخاطر داشت که آب تخلیه شونده از بویلر کثیف بوده و احتمال فراوانی وجود دارد که سوراخ اریفیس محدود شده و یا حتی به طور کامل بسته شود.

شیرهای زیرآب‌زنی

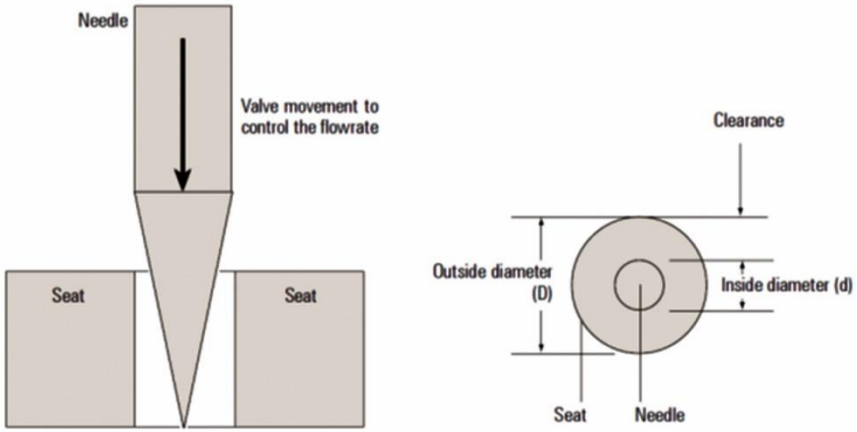
در ساده‌ترین طراحی شان، شیرهای زیرآب‌زنی بصورت یک شیر سوزنی مورد استفاده قرار می‌گیرند. چنانچه لازم باشد دبی افزایش پیدا کند، سوزن از نشیمنگاه خود فاصله گرفته و فضای عبور آب را افزایش می‌دهد.
برای اطمینان از ایجاد سرعت معقول در اریفیس، اندازه لازم برای عبور دبی 1111kg/h زیرآب‌زنی برابر با 3.6mm خواهد بود. اگر قطر نشیمنگاه شیر 10mm باشد، می‌توان قطر سوزن در نقطه‌ای که دبی مورد نیاز تأمین شود را از رابطه زیر بدست آورد:

$$d^2=\sqrt{(D_2^2-D_1^2)}$$

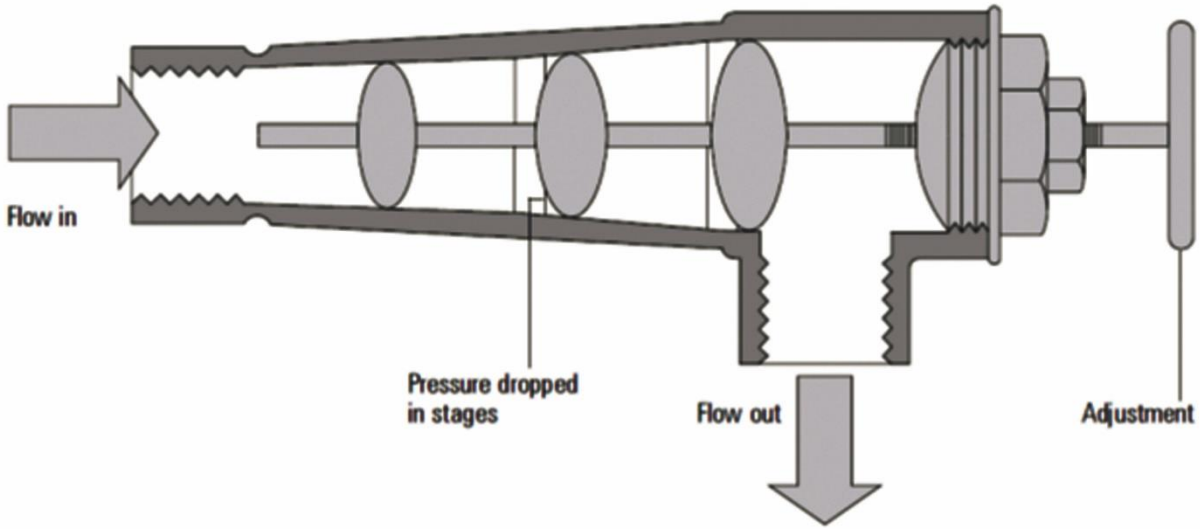
که $D_2 = 10.0mm$, $D_1 = 3.6mm$
و d برابر با ۹.۳۳ میلیمتر بدست خواهد آمد. فاصله مورد نیاز نصف اختلاف قطرها است. پس

$$Difference = (10.0-9.33)/2 = 0.33mm$$

یک نقطه ضعف اصلی این شیرها، کوچک بودن فاصله مورد نیازشان است که امکان دارد توسط ذرات ریز مسدود شود. علاوه براین، باید به مشکل پاشش بخار بر روی نشیمنگاه شیر نیز اشاره نمود. فاصله کوچک به معنای ایجاد جریانی از مخلوط بخار آب با سرعت بالا نزدیک سطح سوزن و نشیمنگاه می‌باشد. خوردگی و سایش در این شرایط غیرقابل اجتناب بوده و خرابی شیر را در پی خواهد داشت.



البته شیرهای زیرآب‌زنی پیوسته در طول سالیان تکامل پیدا کرده و امروزه با طراحی‌هایی به بازار عرضه می‌شوند که انرژی را در چند مرحله آزاد می‌سازند. این نوع شیرها برای کاربری دستی طراحی می‌شوند. نمونه ای از آب بویلر تهیه و TDS آن اندازه‌گیری می‌شود تا تنظیم درستی در خصوص موقعیت شیر صورت پذیرد.

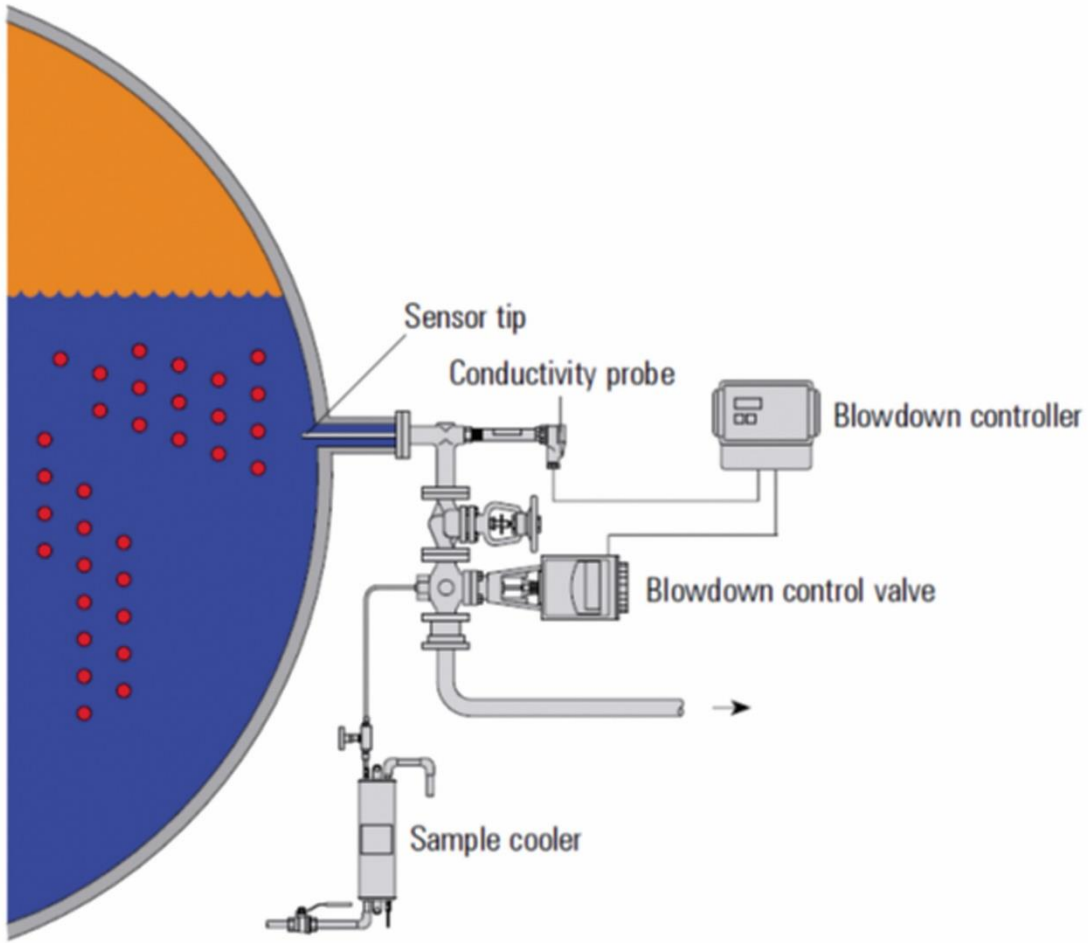


شیرهای زیرآب زنی روشن/خاموش

شیرهای زیرآب‌زنی روشن/خاموش از این مزیت برخور دارند که ابزار کنترلی بزرگتری با فاصله عبوری مورد نیاز فراخ تری را عرضه می‌دارند که تنها در مقطعی از زمان باز می‌شود. واضح است که برای حفظ سطح TDS در یک بازه منطقی باید عملیات زیرآب‌زنی را مدیریت نمود. به طور مثال می‌توان کنترلر را به نحوی تنظیم نمود که در TDS برابر با 3000ppm باز شود و در TDS برابر با 10%-3000=2700ppm بسته شود. بدین‌ترتیب می‌توان به ترکیبی متعادل از اندازه شیر و دقت کافی دست یافت.

سیستم‌های کنترلی اتوماتیک

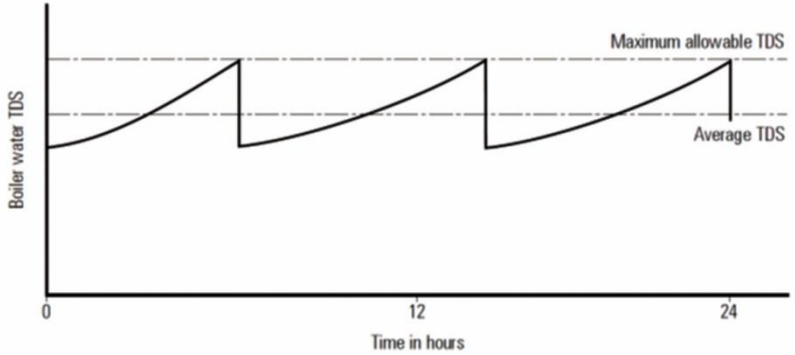
سیستم‌های کنترلی اتوماتیک حلقه بسته، رسانایی آب بویلر را اندازه‌گیری کرده و آن را با یک مقدار از پیش تنظیم شده مقایسه می‌کنند، اگر میزان TDS بالا باشد شیر کنترلی زیرآب‌زنی باز شده و تا رسیدن به نقطه تنظیمی باز باقی می‌ماند.



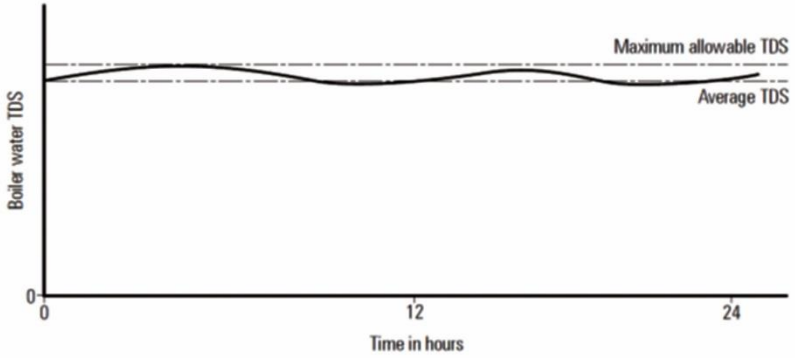
میزان صرفه جویی حاصل از بکارگیری سیستم اتوماتیک که به شکل کاهش میزان زیرآب زنی نمودار می‌شود در مثال زیر شرح داده شده است:

نمودار زیر نشان می‌دهد که TDS میانگین در سیستمی با زیرآب‌زنی دستی بطور قابل ملاحظه‌ای پایین تر از حداکثر مقدار مجاز TDS می باشد. برای مثال می توان میزان حداکثر TDS مجاز را 3500ppm و میزان TDS متوسط را 2000ppm درنظر گرفت. این بدان معنی است که میزان زیرآب‌زنی واقعی بسیار بیشتر از مقدار موردنیاز می‌باشد. چنانچه TDS آب تغذیه 200ppm باشد، مقدار واقعی زیرآب‌زنی عبارت خواهد بود از:

(200/(2000-200))*100 = 11.1%



با نصب یک سیستم خودکار کنترل TDS، میزان متوسط TDS آب بویلر را می توان در سطحی تقریبا معادل با حداکثر میزان مجاز TDS حفظ کرد. نتیجه کار در نمودار زیر نشان داده شده است.



چنانچه بنا باشد یک بویلر میزان مشخصی بخار تولید نماید، دبی زیرآب زنی باید به این میزان اضافه شود. انرژی هدر رونده در فرایند زیرآب زنی در واقع همان انرژی ای است که صرف گرم کردن این آب اضافه و رساندن آن به دمای اشباع می شود. به عنوان مثال اگر در یک بویلر با ظرفیت 5000kg/h و فشار کاری 10barg، دمای آب تغذیه $80^{o}C$ باشد، تغییر انرژی را می توان به صورت زیر محاسبه کرد:

با فرض شرایط TDS اشاره شده در فوق و برای زیرآب زنی دستی:
دبی زیرآب‌زنی: ٪۱۱.۱
برای تولید 5000kg/h بخار، دبی آب ورودی مورد نیاز به بویلر برابر خواهد بود با:

$$(5000\ kg/h*(100+11.1))/100 = 5555\ kg/h$$

حال می توان انرژی مورد نیاز برای تغییر دما از دمای آب تغذیه به آب اشباع را حساب نمود:

$$Q_1 = (5555\ kg/h*((782-335)\ kj/kg))/(3600\ s/h) = 690\ kW$$

که ۷۸۲ و ۳۳۵ به ترتیب بیانگر میزان آنتالپی در شرایط اشباع و آب ورودی می باشند و از جداول بخار استخراج شده‌اند.
انرژی موردنیاز برای تبخیر 5000kg/h از این میزان آب برابرخواهد بود با:

$$Q_2 = (5555\ kg/h*(2000\ kj/kg))/(3600\ s/h) = 2778\ kW$$

بنابراین ،کل انرژی لازم به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Q = Q_1+Q_2 = 690+2778 = 3468\ kW$$

درحالت استفاده از کنترل خودکار TDS، دبی زیرآب‌زنی برابر خواهد بود با:

$(200/(3500-200))*100 = 6.1\%$

بنابراین، دبی آب ورودی مورد نیاز به بویلر برابر خواهد بود با:

$(5000\ kg/h*(100+6.1))/100 = 5305\ kg/h$

همانند قبل داریم:

$Q_1' = (5035\ kg/h*((782-335)\ kj/kg))/(3600\ s/h) = 659\ kW$

$Q_2' = (5555\ kg/h*(2000\ kj/kg))/(3600\ s/h) = 2778\ kW$

در نتیجه انرژی کل را می‌توان به دست آورد:

$Q' = Q_1'+Q_2' = 659+2778 = 3437\ kW$

اختلاف دوحالت را می توان از تفریق انرژی کل مربوط به آن‌ها محاسبه نمود:

$Q-Q' = 3468-3437 = 31\ kW$

اگر مقدار صرفه‌جویی را به صورت درصد بیان کنیم:

$(31/3468)*100 = 0.9\%$

یا به عبارتی با تغییر سیستم کنترل TDS از حالت دستی به خودکار می توان در حدود ۱٪ راندمان کلی بویلر را بهبود بخشید.

سیستم بازیاب حرارت زیرآب‌زنی

سیستم بازیاب حرارت موجود در جریان زیرآب زنی حاضر قادر است بطور خودکار به تغییرات بار سیستم پاسخ دهد و تا ٪۹۰ از حرارت موجود در این جریان را که بطور عادی هدر می‌رود، بازیابی نماید.
دوره بازگشت سرمایه برای این سیستم بسیار کوتاه بوده و بدون درنظر گرفتن باقی مزایای سیستم، هزینه سرمایه گزاری اولیه آن در مدتی کمتر از یک سال با صرفه‌جویی در هزینه سوخت قابل برگشت می‌باشد.

سیستم بازیاب حرارت پیشنهادی دو کاربری عمده دارد:

* بطور خودکار میزان زیرآب‌زنی سطحی را برای حفظ سطوح مورد نظر ذرات جامد (TDS) در بویلر کنترل می‌کند و از این طریق میزان زیرآب‌زنی را به حداقل می‌رساند.
* حرارت موجود در جریان زیرآب‌زنی را بازیابی کرده و آن را به آب سرد تغذیه بویلر منتقل می‌سازد. به این ترتیب راندمان کلی بویلر نیز افزایش پیدا می‌کند. این سیستم همچنین با جلوگیری از ورود مقدار زیادی آب سرد به مجموعه بویلر، باعث افزایش عمر مفید کاری آن می‌گردد.

شیر کنترل قرار گرفته در واحد بازیاب دو عمل مهم انجام می‌دهد. این شیر دبی آب تغذیه را اندازه گرفته و خود را در وضعیتی قرار می‌دهد تا نسبت موردنیاز دبی‌های زیرآب‌زنی و آب تغذیه ثابت باقی بماند. درنتیجه، غلظت ذرات جامد محلول داخل بویلر نیز بطور خودکار حفظ می‌شود.

این سبک کنترل، همچنین این امکان را فراهم می‌کند که بازیابی حرارت به شکل موثری صورت پذیرد. چرا که جریان داغ زیرآب‌زنی تنها زمانی برقرار می‌گردد که جریانی از آب سرد تغذیه ایجاد شده باشد.

مبدل حرارتی بگونه ای طراحی شده است که جریان زیرآب زنی در سمت لوله آن قرار گیرد. بدین ترتیب تعداد مسیرهای فراوانی برای جریان آب داغ فراهم می شود که حداکثر میزان انتقال حرارت را بدنبال خواهد داشت. علاوه براین، سرعت جریان سیال در لوله ها بالا در نظر گرفته شده است تا از رسوب گزاری و ته نشست ذرات جامد جلوگیری شود. با توجه به غلظت بالای ذرات جامد و جزئیات فرایندهای انتقال حرارت در مبدل، جنس لوله ها از فولاد ضدزنگ انتخاب شده و همچنین برای جلوگیری از ایجاد ارتعاش که یکی از رایج ترین مشکلات مبدل های زیرآب زنی می باشد، تدابیری اندیشیده شده است.
یک دماسنج در دهانه خروجی جریان زیرآب زنی تعبیه می شود تا دمای این جریان و عملکرد سیستم قابل پیگیری باشد. با جمع آوری و پایش اطلاعات می توان برنامه زمانی تمیزکاری مبدل ها را تنظیم نمود.
مجموعه طراحی شده برای کاربری در یک بویلر از تجهیزات زیر تشکیل می شود:
* کنترل ترموستاتیک * مبدل حرارتی * دماسنج * لوله کشی ها
در مورد مجموعه هایی که از چند بویلر استفاده می کنند، چند تجهیز دیگر به فهرست بالا اضافه خواهد شد.

انرژی موجود در جریان زیرآب زنی برای مثال حل شده ابتدایی را می توان بطریق زیر بدست آورد:

$$1111\ kg/h*(1/3600)\ h/s = 0.31\ kg/s$$

با استخراج مقدار آنتالپی از جداول بخار

$$h_f = 782\ kj/kg$$

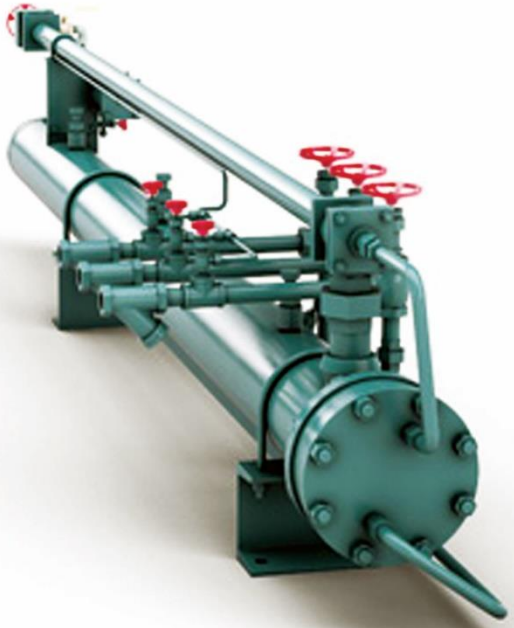
بنابراین

$$Q = 0.31\ kg/s*782\ kj/kg = 241\ kW$$

البته باید توجه داشت که دمای آب تغذیه بویلر می تواند تا حدودی بر میزان انرژی قابل استحصال تاثیر بگذارد.

از مهمترین مزایای نصب و بهره‌برداری از سیستم بازیاب حرارت زیرآب‌زنی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

* بازیابی تا ۹۰٪ از حرارتی که بطور عادی از دست می‌رود،
* کنترل خودکار میزان زیرآب‌زنی سطحی برای حفظ غلظت موردنیاز ذرات جامد محلول در داخل بویلر،
* کنترل خودکار ذرات جامد معلق در بویلر،
* اندازه کوچک برای قرارگیری در موتورخانه‌های متداول،
* صرفه‌جویی قابل‌ملاحظه در مصرف سوخت برای هر ظرفیتی،
* انتقال حرارت موجود در آب زیرآب‌زنی و کاهش هزینه‌های سوخت،
* صرفه‌جویی در هزینه‌های مواد شیمیایی افزودنی به آب بویلر با کاهش زیرآب‌زنی،
* خنک‌سازی جریان زیرآب‌زنی قبل از تخلیه به مسیر فاضلاب.



Engineered Solution by
Farda Energy Systems

سیستم‌های انرژی فردا

طراحی، مشاوره، تامین و اجرای
راهکارهای مهندسی شده
تولید، انتقال و تبدیل انرژی حرارتی و آب

عضو پارک علم و فناوری استان مازندران
آمل، ساختمان مرکز نوآوری، واحد ۴۶

۰۱۱ ۴۴۴۴ ۲۰۷۹
۰۹۲۱ ۴۲۰ ۴۲۱۱
۰۹۱۳ ۲۹۲ ۳۷۲۸

farda-es.com

farda_energysystems
future_condensingboiler