

افزایش راندمان بویلر با استفاده از توربولاتور نوع فنی

اصغر دانشور پاشاکی^۱، رضا کمالی^۲، محمد عزیزمرادی^۳

^۱ کارشناس مهندسی مکانیک (ساخت و تولید) و مسئول مهندسی تحقیق و توسعه، ماشین سازی اراک، adaneshvar@msa.ir

^۲ کارشناس ارشد مهندسی مکانیک (تبدیل انرژی) و کارشناس طراحی مهندسی دیگ بخار، ماشین سازی اراک، r.kamali@msa.ir

^۳ کارشناس ارشد مهندسی مکانیک (جامدات) و مدیر واحد تحقیق و توسعه، ماشین سازی اراک، azizmoradi@msa.ir

چکیده:

در راستای بهینه سازی انرژی و بالا بردن راندمان دیگهای بخار لوله آتشی^۱، پژوهشی توسط کارشناسان شرکت ماشین سازی اراک صورت پذیرفت که نشان می دهد، با استفاده از توربولاتورهای فنی^۲ بالابردن راندمان دیگ های بخار تا ۳٪ امکان پذیر می باشد.

از آنجایی که اتلاف انرژی در امتداد خروجی دود (اگزوز^۳) در حدود ۱۵ الی ۲۰ درصد می باشد، بازیافت ۳ درصد انرژی بوسیله این تجهیز در این نوع دیگ ها بسیار حائز اهمیت می باشد.

انواع دیگر توربولاتورها هر کدام به نوبه خود افت فشاری را در مسیر عبور محصولات احتراق ایجاد می کنند، که خود موجب افزایش توان فن مورد استفاده در مشعل می شود، اما طراحی توربولاتورهای موضوع این نوشتار به گونه ای است که بدون ایجاد افت فشار محسوس، در سمت احتراق می تواند چنین نتیجه ای را رقم بزند.

واژه های کلیدی: توربولاتور، دیگ بخار، لوله آتش، راندمان

مقدمه:

دیگ های بخار تجهیزاتی هستند، برای تولید بخار که مصرف آن در صنایع مختلف اعم از پالایشگاهی، پتروشیمی، غذایی و شیمیایی می باشد، لذا باتوجه به هزینه بر بودن تولید بخار، بهینه سازی مصرف سوخت و نیز بازیافت انرژی حرارتی از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد. به طور کلی اتلاف انرژی در دیگ های بخار از طریق بدنه، بلودان^۴ و دودکش انجام می شود. روش های متداول جهت بازیافت حرارت از دودکش این نوع دیگ ها به ترتیب بهره گیری از اکونومایزر، ایرپری هیتر^۵ و توربولاتور می باشد که در ادامه به طور خلاصه بدانها اشاره می گردد.

اکونومایزرها:

اکونومایزر یک مبدل حرارتی ساده می باشد که جهت پیش گرم آب ورودی دیگ توسط محصولات احتراق خروجی از دودکش مورد استفاده قرار می گیرد، بدین ترتیب آب تغذیه دیگ با دمای بالاتری به درون آن فرستاده می شود و انرژی کمتری را برای تبخیر و یا گرمایش آب نیاز دارد. لذا در این حالت، با یک مقدار انرژی مشخص، می توان آبگرم و یا بخار بیشتری را تولید کرد. نتیجه این امر افزایش در راندمان بویلر است.

^۱ Fire tube boilers

^۲ Helix wire type turbulators

^۳ Exhaust

^۴ Blow down

^۵ Air preheater

از معایب آن گران بودن، بزرگ بودن تجهیز که اغلب باعث می شود گازهای خروجی به دمای شبکم رسیده و ترکیبات اسیدی خورنده ای را ایجادکنند که پس از مدتی باعث نابودی تجهیز شود.

ایرپری هیترها:

از این تجهیز برای گرم کردن هوای احتراق استفاده می شود و از معایب این تجهیز بالا بودن هزینه های ساخت و برگشت این هزینه ها در مدت زمان طولانی می باشد.

توربولاتورها:

تجهیزات ثابت مکانیکی می باشند که در مسیر محصولات احتراق دیگ های لوله آتشی و عمدتاً در لوله ها نصب می شوند. این تجهیزات با برهم زدن لایه مرزی، افزایش آشفتگی در مسیر و همچنین ماندگاری بیشتر و طولانی کردن مسیر عبوری محصولات احتراق باعث جذب بیشتر انرژی اتلافی محصولات احتراق به آب درون دیگ می شوند و شامل انواع زیر هستند:

Twisted tape -1

معمولی ترین نوع توربولاتور می باشد که ضریب انتقال حرارت را افزایش داده ولی در عوض افت فشار نسبی را بر سیستم تحمیل می کند و از تسمه های نازک استنلس استیل یا آلومینیوم ساخته می شود.



Bend strip-2



ضریب انتقال حرارت را تا ۷ برابر افزایش می دهد و افت فشار بالایی را بر سیستم تحمیل میکند.

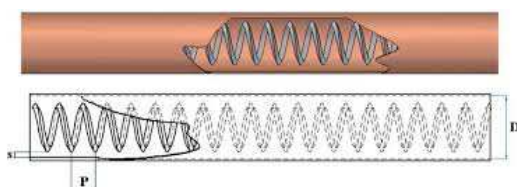
Corrugated strip-3

ضریب انتقال حرارت را تا ۵ برابر افزایش می دهد اما این نوع نیز افت فشار بالایی را بر سیستم تحمیل می کند.



Helix wire-4

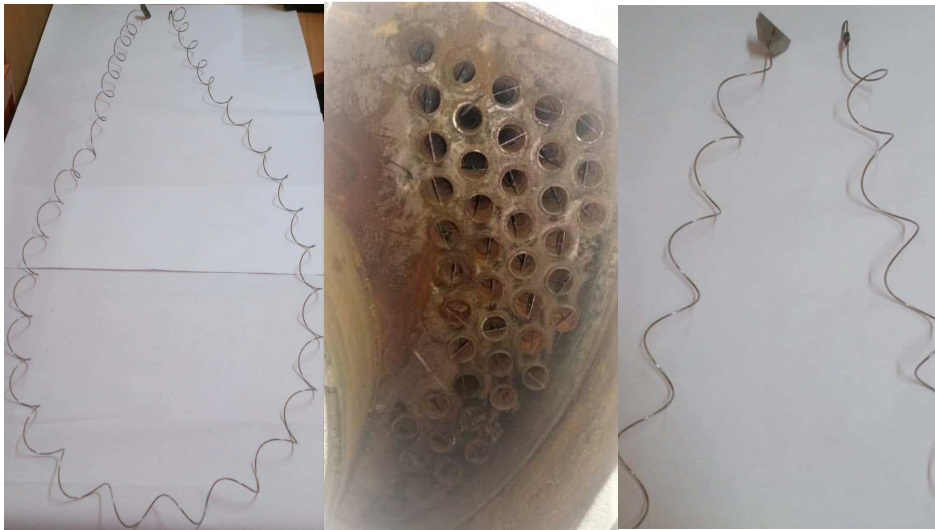
با ۲ برابر کردن ضریب انتقال حرارت افت فشار ناچیزی را در سیستم ایجاد می کند و برای ساخت آن از سیم و مفتول بهره گرفته می شود.



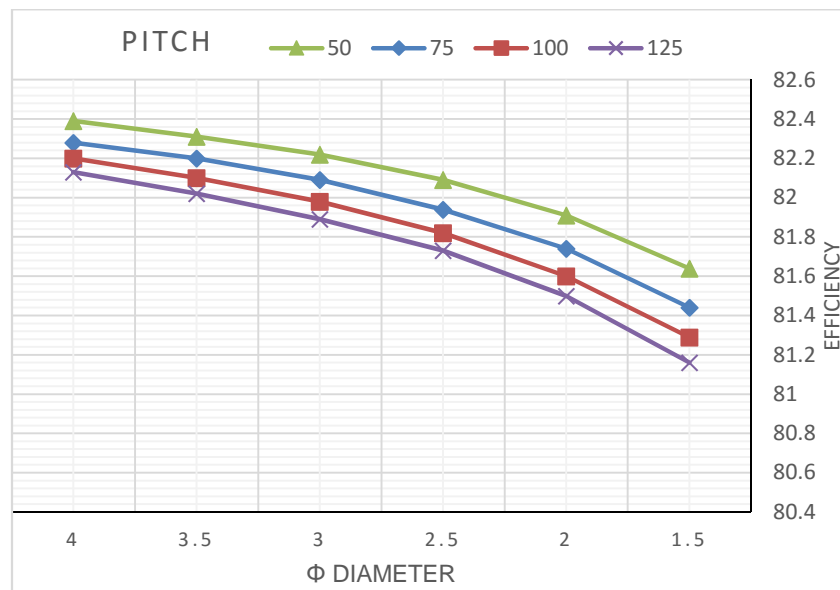
اجرای پروژه و خلاصه نتایج:

در این پژوهش تمرکز اصلی بر استفاده از توربولاتور های Helix wire ، به دلیل افت فشار کم مسیر دود و نیز هزینه های پایین تولید تجهیز بوده است، لذا یک نمونه از این تجهیز با مشخصات هندسی مشخص برای دیگ بخار 6170 lbs/hr ، طراحی و ساخته شد که پس از مونتاژ آن درون لوله های پاس سوم و قرار دادن دیگ در شرایط بیشینه ظرفیت^۶ افت دمایی در حدود ۳۳ درجه سانتیگراد در آگروز مشاهده شد که این امر افزایش بازدهی در حدود ۱,۴٪ و صرفه جویی سوخت گازی در حدود ۳/۴ m³/hr در بر داشته است.

در ادامه خلاصه ای از نتایج بر اساس مشخصات هندسی توربولاتور، مقایسه ضریب انتقال حرارت جابجایی و نیز عکس های مربوط به این پروژه تحقیقاتی آمده است.

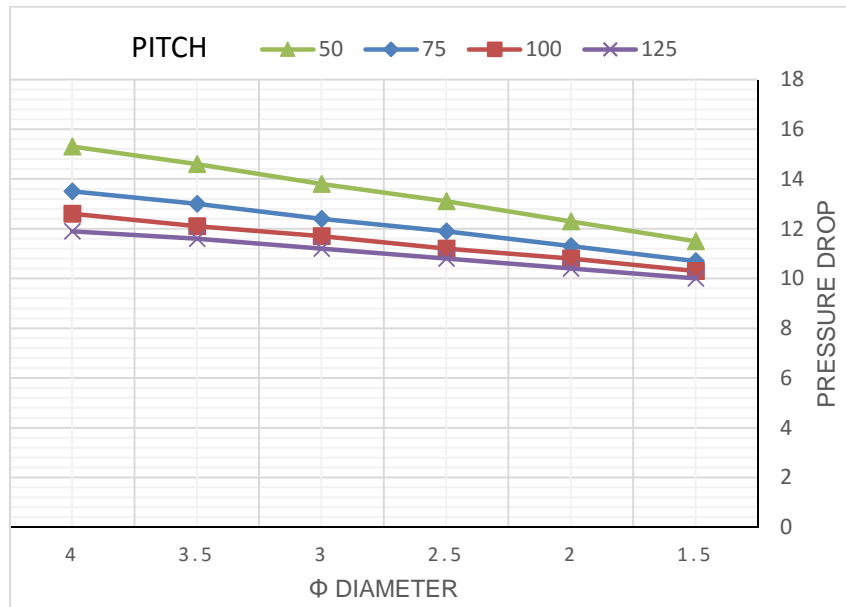


نمونه توربولاتور ساخته و تعبیه شده در لوله های دیگ بخار فایر تیوب



نمودار مربوط به راندمان دیگ بخار (با افزایش قطر وایر و کاهش گام ، راندمان دیگ بخار افزایش می یابد)

^۶ Maximum rate



نمودار مربوط به افت فشار مسیر دود (با کاهش گام و افزایش قطر وایر، افت فشار مسیر زیاد می شود)

مقایسه ضریب انتقال حرارت جابجایی در دو حالت با مصرف سوخت یکسان:

با تقریب نزدیک به واقعیت، می توان سطح مقطع لوله بدون توربولاتور و با توربولاتور را برابر فرض کرد و لذا قطر داخلی و سرعت جرمی سیال در هر مقطع از لوله پاس سه، مساوی بوده و در نتیجه صورت کسر رابطه رینولدز ثابت خواهد بود، پس تنها عامل مهم تاثیر گذار بر رینولدز در اینجا ویسکوزیته محصولات احتراق می باشد که در مرحله بعد به محاسبه آن خواهیم پرداخت:

$$Re = \frac{Gd_i}{\mu} \Rightarrow Re = \frac{cte}{\mu} \Rightarrow Re \propto \frac{1}{\mu}$$

برای محاسبه ویسکوزیته اجزای گازی موجود در محصولات احتراق در دماهای مختلف می توان از رابطه زیر بهره گرفت:

$$\mu = \sum_0^5 \alpha_n T^n$$

T = دما بر حسب درجه کلوین

μ = ویسکوزیته بر حسب میکرو پویز μP

α_n = ضرایب برای گازهای مختلف ، که از جداول مربوطه قابل استخراج است.

با محاسبه دمای میانگین در دو حالت (اندیس w به حالت با تعبیه توربولاتور و wo به حالت بدون توربولاتور اشاره دارد.) به نتایج ذیل میرسیم:

دماهای ورودی، خروجی و میانگین پاس سه بدون تعبیه توربولاتور :

$$T_{wo}^{in} = 516^{\circ}C$$

$$T_{wo}^{out} = 252^{\circ}C$$

$$T_{wo}^{mean} = \frac{516 + 252}{2} = 384^{\circ}\text{C} \Rightarrow \mu_{wo} = 29.46 \text{ millipoise} \Rightarrow Re_{wo} = 10731.39$$

همچنین دماهای ورودی، خروجی و میانگین پاس سه با تعبیه توربولاتور:

$$T_w^{in} = 516^{\circ}\text{C}$$

$$T_w^{out} = 219^{\circ}\text{C}$$

$$T_w^{mean} = \frac{516 + 219}{2} = 367.5^{\circ}\text{C} \Rightarrow \mu_w = 28.93 \text{ millipoise} \Rightarrow Re_w = 10927.98$$

با توجه به اینکه عدد ناسلت برای دو حالت با و بدون توربولاتور مطابق روابط زیر می باشد:

$$Nu_w = 0.515 Re_w^{0.584} Pr^{0.4}$$

$$Nu_{wo} = 0.023 Re_{wo}^{0.85} Pr^{0.4}$$

از اینرو نتیجه ذیل برای ضریب انتقال حرارت جابجایی حاصل می شود :

$$\frac{h_w}{h_{wo}} = \frac{0.515 Re_w^{0.584}}{0.023 Re_{wo}^{0.85}} = \frac{0.515}{0.023} \left(\frac{10927.98^{0.584}}{10731.39^{0.85}} \right) (28.93)^{0.4} = 1.91 \Rightarrow h_w = 1.91 h_{wo}$$

لذا ادعای یاد شده مبنی بر ۲ برابر شدن ضریب انتقال حرارت جابجایی برای توربولاتورهای اسپیرال در این محاسبات تایید شده است.

نتایج استفاده از توربولاتورهای اسپیرال:

- ۱- افزایش ناچیز افت فشار مسیر دود که در نتیجه آن، نیاز به تعویض مشعل و استفاده از فن قویتر نمی باشد.
- ۲- سرمایه گذاری بسیار ناچیز و برگشت آن برای خریدار کمتر از ۲ ماه.
- ۳- افزایش راندمان در محدوده ۱/۳٪ تا ۳٪.
- ۴- امکان ساخت و نصب بسیار آسان این نوع توربولاتورها در دیگهای بخار
- ۵- استفاده از این روش بجای استفاده از اسپیرال تیوب ها که ممانعت استاندارد دارند.
- ۶- باتوجه به استفاده وسیع دیگهای بخار و آبگرم در صنایع مختلف، کاربرد این تجهیز کمک زیادی به محیط زیست میکند.

منابع:

- 1- Prediction of Performance for a Fire-Tube Boiler with and without Turbulators, David A. Didion. Lih Chern., July 1984.
- 2- Industrial Boilers, David Gunn and Robert Horton, April 1989.
- 3- Steam, It's generation and use, The Babcock and Wilcox Co., USA, 2005
- 4- Industrial Boilers and Heat Recovery Steam Generators, V.Ganapathy, 2003