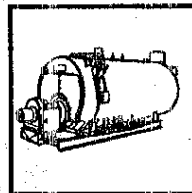


توربولاتور در دیگهای بخار؛

وسیله‌ای برای افزایش راندمان

از: مهندس بهزاد بحتوی
 bahtooei@gmail.com



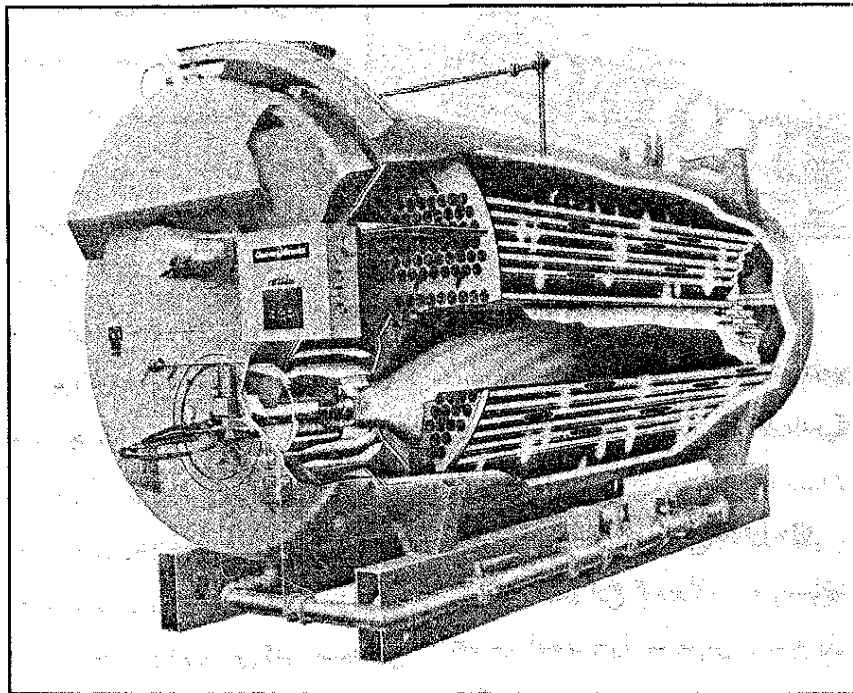
مقدمه

دیگهای آب داغ و بخار لوله آتشی (فایر تیوب) یکی از منابع اصلی تولید حرارت در صنایع و ساختمانها می‌باشند. راندمان دیگهای لوله آتشی بسته به طراحی و مشعل مورد استفاده بین ۶۵ تا ۸۵ درصد است. در واقع ۱۵ تا ۳۵ درصد انرژی وارد شده به بویلر به هدر می‌رود. راهکارهای مختلفی جهت بازیافت حرارت از دودکش پیشنهاد شده‌اند که تا کنون به دلایل اقتصادی مورد اقبال عمومی قرار نگرفته‌اند. روشهای معمول افزایش راندمان مبتنی بر بازیابی انرژی خروجی همراه دود و استفاده از آن جهت پیش گرم کردن آب یا هوای ورودی به بویلر است. در استفاده از توربولاتور هدف اصلی دستیابی به روشی است که میزان انتقال حرارت از دود به آب داخل بویلر افزایش یافته، دمای خروجی دود کاهش یابد و در نتیجه راندمان بویلر افزایش یابد. استفاده از توربولاتور روش مقرون به صرفه‌تری در افزایش راندمان مجموعه بخار نسبت به استفاده از اکونومایزر و یا پیش گرمکن هوا می‌باشد.

تاریخچه

پیشینه تاریخی استفاده از توربولاتور در بویلرها به سال ۱۸۹۶ در انگلستان باز می‌گردد. در این سال در تحقیقی نشان داده شد که با استفاده از توربولاتور نوار پیچانده (Twisted tape) می‌توان مصرف زغال سنگ را در بویلر لوله آتشی ۱۸/۲ درصد کاهش داد. استفاده از توربولاتور

از اوایل قرن بیستم در انگلستان معمول گردید. هم اکنون در بسیاری از کشورهای دنیا توربولاتور به عنوان بخشی جدایی ناپذیر از بویلر درآمده است و سازندگان بویلر از همان ابتدا بویلر را مجهز به توربولاتور به مشتریان خود تحویل می‌دهند. وزارت انرژی آمریکا (DOE) نیز در کتاب خود با نام Improving Steam System Performance: A Sourcebook for Industry که مرجع بهره‌وری سوخت در آمریکا محسوب می‌شود، تأکید بر استفاده از توربولاتور در پاس ۲ و ۳ بویلرهای لوله آتشی دارد.



شرکت توربو دماوند تنها تولیدکننده توربولاتور در ایران
 DUNHAM - BUSH در ایران





اصول کارکرد

در بویلرهای فایرتیوب، سوخت پس از احتراق در کوره، وارد لوله های دود (smoke tubes) می گردد. محصولات

احتراق در عبور از این لوله ها، حرارت خود را به آب بیرون لوله ها منتقل می کنند و سرانجام از طریق دودکش خارج می شوند. بیش از نیمی از انتقال حرارت بویلر از طریق لوله های دود صورت می پذیرد.

جریان دود در لوله های دود، یک جریان توسعه یافته با پروفیل سرعت مستقیم است که لایه مرزی با جریان آرام بر روی جداره داخلی لوله ایجاد می کند. لایه مرزی یاد شده که سرعت خیلی کمتری نسبت به جریان اصلی دارد به مثابه یک عایق حرارتی بین جداره لوله و حجم اصلی جریان قرار می گیرد و میزان انتقال حرارت را کاهش می دهد. همچنین دوده و ذرات جامدی که به همراه دود وارد لوله می شوند با قرار گرفتن در این لایه کم سرعت، فرصت نشستن بر روی جداره لوله را پیدا می کنند.

توربولاتور وسیله مکانیکی ثابتی است که در جریان سیال قرار گرفته و با ایجاد اغتشاش در جریان و از بین بردن لایه مرزی، ضریب انتقال حرارت را افزایش داده و از رسوب دوده بر روی سطح داخلی لوله جلوگیری می کند. همچنین توربولاتور مسیر عبور جریان دود در

افست فشار اضافی چندانی به سیستم تحمیل نمی کند (شکل ۱).

● نوار خمیده (Bent strip) افزایش ضریب انتقال حرارت تا ۷ برابر

گزارش شده است ولی به دلیل افت فشار بالا (تا حد ۳۰۰ درصد افت فشار لوله خالی) موارد استفاده از آن محدود است (شکل ۲).

● نوار چین دار (Corrugated strip) افزایش ضریب انتقال حرارت

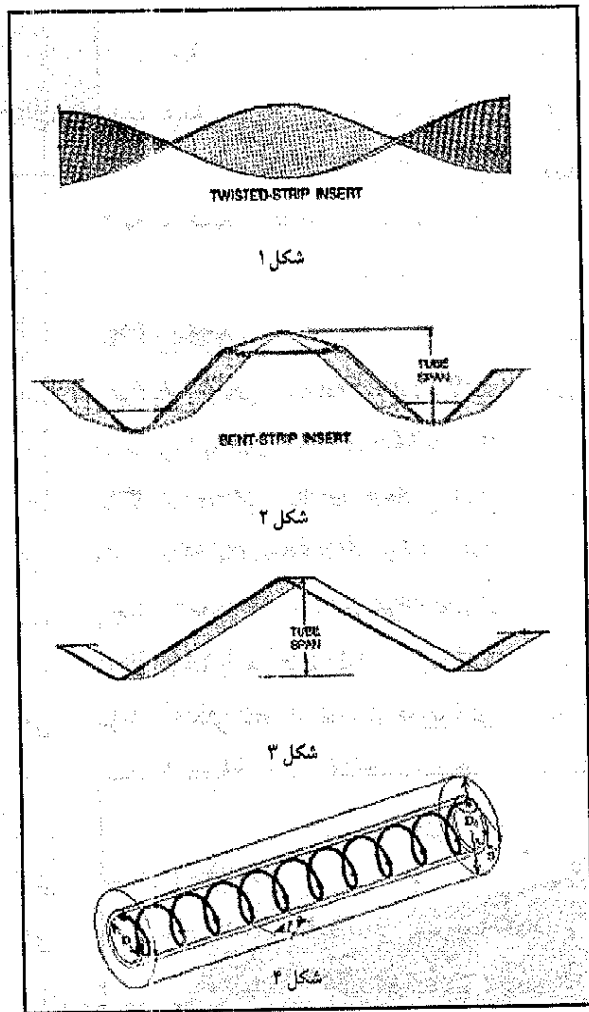
تا ۵ برابر گزارش شده است ولی به دلیل افت فشار بالا (تا حد ۳۰۰ درصد افت فشار لوله خالی) استفاده از آن نیاز به دقت و محاسبات خاص و در صورت امکان تعویض فن دمنده مشعل دارد (شکل ۳).

● فنری (Helix wire) افت فشار کم، سهولت تولید،

همراه با ۲ برابر کردن ضریب انتقال حرارت این نوع توربولاتور را در رتبه دوم مصرف پس از نوار پیچانده قرار داده است (شکل ۴).

جنس توربولاتور با توجه به محل قرارگیری آن (پاس ۲ یا ۳) و دمای کسارکرد از استنلس استیل نسوز و یا آلومینیوم آلیاژی مخصوص می باشد. در ادامه این مقاله توجه خود را به معمول ترین نوع توربولاتور یعنی نوار پیچانده معطوف می نمایم.

لوله را طولانی تر نموده، دود مدت زمان بیشتری در تماس با سطح تبادل حرارتی قرار می گیرد و در نتیجه میزان انتقال حرارت افزایش می یابد.

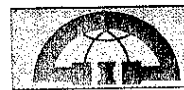


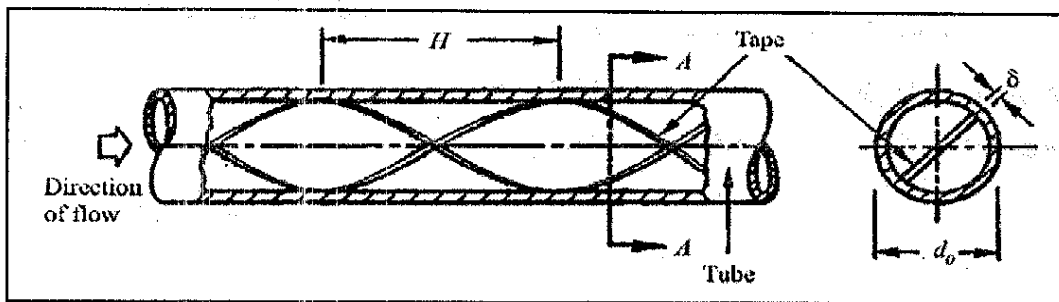
انواع توربولاتور

انواع مختلفی از توربولاتورهای داخل لوله ای برای بویلرها ارائه شده اند که عبارتند از:

● نوار پیچانده (Twisted tape) معمول ترین نوع توربولاتور می باشد. ضریب انتقال حرارت داخل لوله را تا ۳/۵ برابر افزایش می دهد و در عین حال

شرکت نوبه تهران
DUNHAM - BUSH در ایران





شکل ۵

طراحی توربولاتور

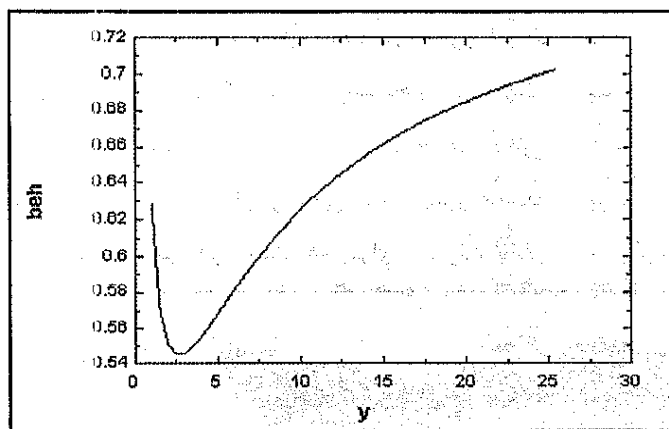
شکل ۵ نحوه قرارگیری توربولاتور در لوله و پارامترهای مهم آن را نشان می‌دهد که در آن d_0 قطر خارجی لوله، H گام پیچش 180° درجه‌ای نوار و δ ضخامت نوار فلزی است. ضخامت نوار فلزی بین $1/5$ تا 3 میلی‌متر می‌باشد. گام پیچش H مهمترین پارامتر در طراحی توربولاتور است. نسبت گام

به قطر لوله را نسبت پیچش نامیده و با Y مشخص می‌نمایند. هرچه قدر Y کوچکتر باشد، تعداد پیچشها در واحد طول بیشتر بوده و لاجرم میزان اغتشاش و طول مسیر بیشتر شده و میزان انتقال حرارت بیشتر خواهد بود. نکته محدود کننده در کاهش

و خاموش می‌شود. لذا با افزایش Y راندمان حداقل است. البته ممکن است در نقطه بهینه طراحی هم مجموعه فن مشعل و دودکش توان غلبه بر افت فشار ایجاد شده را نداشته باشند که در این صورت باید Y را افزایش داده و لاجرم از نقطه بهینه دور شد. Y بهینه هر بویلر با دیگری متفاوت است ولی محدوده کلی آن بین $2/6$ تا $3/4$ می‌باشد. Y عملی که بستگی به افت فشار مجاز دارد عددی بین 3 تا 5 است.

نتیجه گیری

استفاده از توربولاتور در کلیه دیگهای فایرتیوب توصیه می‌شود ولی انتخاب نوع و نیز طراحی آن با ملاحظات فنی دقیقی همراه است که باید توسط کارشناسان خبره انجام پذیرد. چنانچه از ابتدا طراحی بویلر مبتنی بر استفاده از توربولاتور صورت گیرد، نتیجه بدست آمده بسیار بهتر خواهد بود. توربولاتور را می‌توان برای بویلرهایی با سوخت گاز و گازوئیل به کار برد ولی استفاده از آن در بویلرهای مازوت سوز توصیه نمی‌شود.



شکل ۶

عدد Y افت فشار مجاز مسیر دود می‌باشد. با قرار گرفتن توربولاتور در لوله‌های دود، افت فشاری در مسیر دود ایجاد می‌گردد. که چنانچه اختلاف فشار ایجاد شده توسط فن مشعل و دودکش نتواند بر آن فائق آید، دود نمی‌تواند از بویلر خارج شده، مشعل پس زده

انجام گرفت و الگوی مشابهی در تمام آنها تکرار شد به این معنی که با افزایش Y ابتدا beh کاهش می‌یابد و پس از عبور از یک نقطه می‌نیمم، حالت صعودی به خود می‌گیرد (شکل ۶). نقطه می‌نیمم منحنی، ابعاد بهینه توربولاتور است که در آن میزان افت فشار نسبت به افزایش