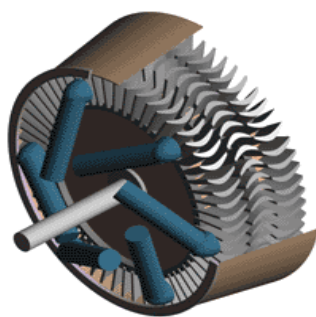


بازیافت انرژی در سیستم های بخار (4)

شرکت پارس جم کنترل
نویسنده مقاله: مهندس عادل قهرمانی

الف- پیش بینی توربین های بخار جهت چرخش تجهیزات دوار



شکل 1: توربین بخار

توربین های بخار کوچک می توانند انتخاب مناسبی جهت محرک اصلی تجهیزاتی نظیر پمپهای تغذیه بویلر ، دمنده ها ، کمپرسورهای هوا ، فن های اجباری¹ و تجهیزات مشابه باشند.

بدین منظور معمولاً از یک توربین بخار با فشار برگشتی و از نوع کندانس² نکننده استفاده می گردد . بخار کم فشار خروجی می تواند جهت گرمایش آب تغذیه ورودی به بویلر ، گرمایش اولیه دی اریتور و یا دیگر تجهیزات فرایندی استفاده شود.

اینگونه توربین ها به شیر های اختناق جریان³ و نازل های گاورنر⁴ مجهز هستند تا جریان بخار عبوری را بصورت تدریجی کنترل کرده و در نتیجه عملکردی دور متغیر داشته باشند. بنابراین توربین مورد بحث با قابلیت تنظیم دور اتوماتیک می تواند عملکردی مشابه یک موتور الکتریکی به همراه اینورتر⁵ را بدست دهد. توربین ها می توانند در دورهای متغیری حرکت نمایند و در زمان بار بیش از حد⁶ نیز از کار نمی افتند. همچنین توانائی تامین گشتاور بزرگ راه اندازی اولیه جهت تجهیزاتی باگشتاور ثابت (انواع زیادی از پمپ ها) از قابلیت های دیگر آنها می باشد.

توربین های بخار بصورت ذاتی محکم و با ضریب اطمینان بالا بوده و به نگهداری نسبتاً کم نیازمند هستند. کنترل آسان داشته و با عملکرد بدون تولید جرقه ، جهت مناطق خطرناک و مستعد انفجار کاملاً مناسب

¹ Forced or induced draft fans

² Backpressure non-condensing steam turbine

³ Throttling valves

⁴ Nozzle governors

⁵ Inverter

⁶ Over load

هستند. همچنین بعلت محصور بودن و آب بندی کامل در محیط های خورنده نیز قابل استفاده می باشند. راه اندازی سریع و مطمئن از دیگر ویژگی آنها بوده و خصوصا جهت اتصال به تجهیزات دوار دور بالا مناسبند. همچنین توربین های مذکور می توانند جهت عملکرد دائم و پیوسته در شرایط کاری سخت انتخاب شده و یا با توجه به تغییر بار ، بصورت رزرو و یا در مواقع اضطراری وارد مدار شوند. راندمان توربین های بخار با راندمان آیزنتروپیک⁷ یا گذر بخار⁸ (مقدار بخار مصرفی جهت تولید قدرت خروجی روی شفت بر حسب lb/hp-hour یا lb/kwh) بیان می شود.



شکل 2: پمپ آب با محرک توربین بخار

مثال: توربین بخاری با قدرت 300 hp دارای راندمان آیزنتروپیک 43% و مصرف بخار 26 lb/hp-hour می باشد. بخار ورودی با شرایط 600 psig/750 F بوده و در حالت 40 psig/486 F اگزااست می شود. مصرف بخار توربین جهت راه اندازی پمپ تغذیه بویلر به قدرت 300hp برابر است با:

$$26 \frac{\text{lb}}{\text{hp} - \text{hr}} \times 300 \text{hp} = 7,800 \text{ lb/hr}$$

⁷ Isentropic
⁸ Steam Rate

با مراجعه به جداول بخار ارزش حرارتی بخار مصرفی برابر 103 Btu/lb بوده که در این مثال انرژی حرارتی مورد نیاز در هر ساعت برابر با 0.8MMBtu خواهد بود. با فرض هزینه گاز مصرفی برابر \$5/MMBtu و راندمان 80 % جهت بویلر ، هزینه سوخت مصرفی تولید بخار مورد نیاز توربین برابر است با :

$$\frac{0.8\text{MMBtu/hr}}{0.8\text{hp} - \text{hr}} \times \$5/\text{MMBtu} = \$5/\text{hr}$$

در مقایسه ، موتور 300hp با راندمان 95% به انرژی الکتریکی زیر نیاز مند است :

$$\frac{300\text{hp} \times (0.746 \text{ kw/hp})}{0.95} = 235.6 \text{ kwh/hr}$$

در صورتی که هزینه الکتریسیته بیشتر از مقدار زیر شود ، استفاده از توربین بخار مقرون به صرفه خواهد بود :

$$\frac{\$5/\text{hr} \times 100\text{cent}/\$}{235.6 \text{ kwh/hr}} = 2.12 \text{ cent/kwh}$$

صرفه جوئی در هزینه سالیانه بستگی به هزینه های اولیه انرژی الکتریکی و ساعات کاری پمپ خواهد داشت. در جدول 3 مقدار بازیافت انرژی سالیانه با توجه به قیمت برق و ساعات کاری پمپ نشان داده شده است. بمنظور ارزیابی دقیق تر ، باید هزینه های نگهداری توربین با هزینه نگهداری الکتروموتورها مقایسه شود.

Electricity Costs, \$/kWh	Feedwater Pump Annual Operating Hours				
	2,000	4,000	6,000	7,000	8,760
0.03	\$4,105	\$8,210	\$12,310	\$14,365	\$17,975
0.05	13,525	27,050	40,570	47,330	59,230
0.075	25,305	50,605	75,910	88,560	110,830

¹ Savings are based upon operation of a 300-hp steam turbine drive with a steam rate of 26 lbs/hp-hr. A natural gas cost of \$5.00/MMBtu is assumed.

جدول 3 : صرفه جوئی حاصل از استفاده از توربین بخار جهت به حرکت در آوردن پمپ تغذیه بویلر

نکته : در صورتی که سایت مورد نظر شما دارای ویژگی های زیر باشد ، به استفاده از توربین بخار بعنوان جایگزین موتورهای الکتریکی فکر کنید :

- در دسترس بودن بویلری با فشار بالا یا بویلری که می تواند در فشار طراحی بالاتر از فشار مورد نیاز پروسس کار نماید.

- هزینه تامین برق بصورت چشمگیر بیشتر از هزینه سوخت است . خصوصا در سایت هائی که دارای قراردادهای خرید و فروش انرژی با تغییرات مقطعی یا فصلی هستند.

- وجود پمپ یا تجهیزات دوار دیگری که نیاز به دور متغیر داشته باشند .

- وجود تجهیزاتی که در صورت قطع برق باید بدون توقف به کار خود ادامه دهند.

نکته : قابلیت اطمینان بیشتر جهت عملکرد دائمی تجهیزات دوار می تواند با نصب الکترو موتور در یک سمت شفت و نصب توربین بخار در سمت دیگر حاصل شود. هر کدام از این دو می تواند بعنوان محرک اصلی انتخاب شود.

ب- جایگزینی شیرهای فشار شکن با توربین های بخار مولد برق⁹

در بسیاری از سایت های صنعتی بخار با فشار بالاتر از میزان مورد نیاز فرایند تولید می شود. به منظور تامین شرایط مناسب ، بخار از داخل شیرهای تقلیل فشار¹⁰ یا اصطلاحاً شیرهای letdown که در بسیاری از نقاط سایت نصب می شوند عبور کرده تا فشار لازم جهت مصرف کننده ها فراهم گردد.

یک توربین بخار از نوع کندانس نکننده¹¹ یا با فشار برگشتی¹² می تواند همان نقش شیر فشار شکن (PRV) را بازی کرده و در عین حال انرژی مازاد بخار را به انرژی الکتریکی تبدیل کند.

در یک توربوژنراتور نیروی لازم جهت دوران شفت توسط هدایت بخار پرفشار از نازل ها به سمت پره های رتور توربین حاصل می شود. رتور به شفتی متصل می شود که از سر دیگر به ژنراتور کوپل گردیده است. این توربین ها بخار را مصرف نکرده و فقط فشار آن را کاهش می دهند و متعاقباً به سمت خطوط فرایند ارسال می کنند.

⁹ Backpressure turbogenerators

¹⁰ Pressure reducing valves (PRV)

¹¹ non-condensing steam turbine

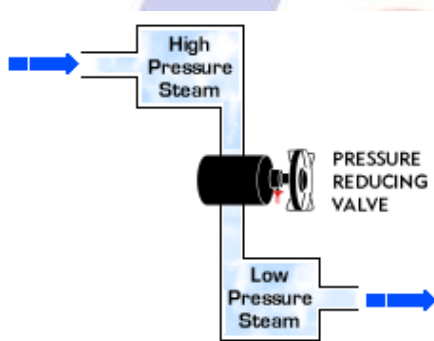
¹² Back pressure steam turbine

تولید برق مقرون به صرفه :

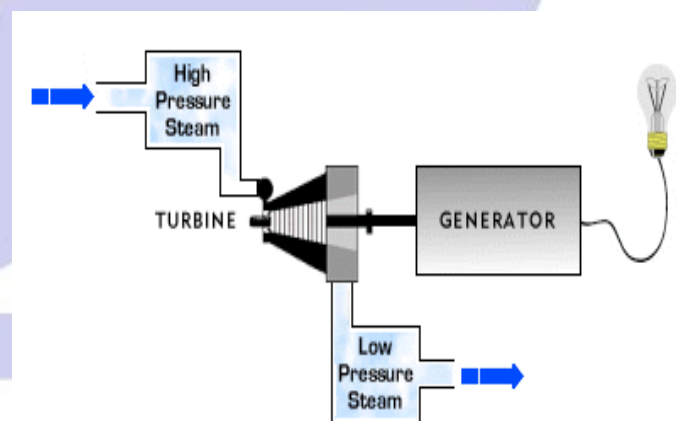
در یک توربین بخار متداول تولید قدرت ، طراحان با به حداکثر رساندن افت فشار در ورودی و خروجی توربین راندمان را افزایش می دهند. نیروگاه های مدرن سیکل رانکین ، با بخار سوپر هیت 1800 psig و کندانسور خروجی در فشار نزدیک به خلا ، راندمانی نزدیک به 40 % را دارا می باشند.

اکثر سایت های صنعتی بویلری با اینچنین فشار بالا را در اختیار نداشته و نمی توانند به راندمان مذکور دست یابند. با این حال ، با جایگزینی شیرهای فشار شکن توسط توربین های فشار برگشتی ، انرژی مازاد ورودی با راندمان بالا جدا شده و به نیروی برق تبدیل می شود. این بدان معنی است که دمای بخار خروجی از این توربین در مقایسه با شیرهای فشار شکن پائین تر است .

از دیدگاه ترمو دینامیکی ، این توربین های بخار با همان راندمان مرسوم سیکل رانکین (راندمان آیزنتروپیک 70-20%) کار می کنند. در حالیکه از نظر اقتصادی ، برق تولیدی با راندمان برابر بویلرهای بخار تولید می شود . بویلرهای مدرن بخار دارای راندمان تقریبی 80% هستند. این مقدار بسیار بالاتر از مقدار متوسط راندمان تولید برق در کشورهای صنعتی است (در آمریکا برابر 33%) . افزایش بیشتر راندمان بمعنی کاهش مصرف سوخت است . توربینهای بخار فشار برگشتی ، می توانند برق را با هزینه کمتر از 3cents/kwh تولید کنند. بازیافت هزینه حاصل معمولاً در زمان کمتر از 2 سال هزینه سرمایه گذاری اولیه را جبران خواهد کرد.



شکل 4: شیر تقلیل فشار بخار



شکل 5: استفاده از توربین بخار جایگزین شیر تقلیل

(توجه: توربین بخار را مصرف نمی کند و فقط فشار بخار را کاهش می دهد.)

ملزومات اجرائی :

توربوژنراتورهای پکیج یا off-the-shelf در محدوده های حداقل 50kw تولید می شوند. بنابراین استفاده از آنها در صورت عبور جریان پایدار بخار با حداقل گذر 3000lb/hr و افت فشار حداقل 100 psig عملی است. جهت اطمینان از تقلیل دائم بخار ، معمولا توربین های بخار برگشتی بموازات یک شیر تقلیل فشار نصب می شود.

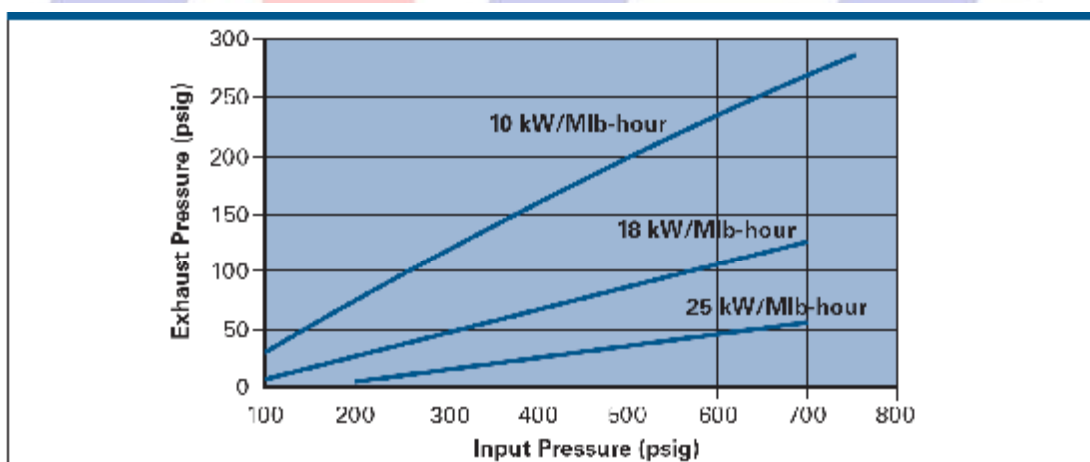
برآورد بازیافت هزینه :

بمنظور ارزیابی اولیه ای از هزینه تولید برق توسط این توربین ها ، هزینه مصرف سوخت بویلر (بر حسب \$/MMBtu) را به راندمان بویلر تقسیم کنید. سپس نتیجه حاصل را به هزینه لازم جهت هر kwh تبدیل کنید.

$$\text{Electricity cost} = \frac{\text{Fuel cost (\$/MMBtu)} \times 0.003412 \text{ MMBtu/kWh}}{\text{Boiler efficiency}}$$

$$\text{Example: } \frac{\$5.00/\text{MMBtu} \times 0.003412 \text{ MMBtu/kWh}}{0.80} = \$0.021/\text{kWh}$$

بمنظور تخمین پتانسیل تولید برق در این روش ، از نمودار شکل 6 استفاده کنید. خطوط مایل نشان دهنده قدرت خروجی بر حسب kw بازاء هر 1000 lb/hr بخار عبوری می باشند که برحسب تابعی از فشار ورودی و خروجی در محورهای افقی و عمودی ترسیم شده اند. با ضرب این عدد در مقدار کل بخار عبوری ، قدرت کل بر حسب kw بدست خواهد آمد.



Note: Assumes a 50% isentropic turbine efficiency, a 96% efficient generator, and dry saturated inlet steam

شکل 6 : پتانسیل تولید الکتریسیته توسط توربوژنراتور فشار برگشتی

بازیافت هزینه نهائی در نتیجه استفاده از توربین فشار برگشتی برابر است با :

[\$/kwh] هزینه تولید برق باتوربین - هزینه متوسط برق مجموعه [X ساعات کار سالیانه X (kw) قدرت خروجی = بازیافت هزینه

هزینه و عمر کاری توربوژنراتورها :

توربوژنراتورها با سوئیچ های الکتریکی دنده ای¹³ دارای هزینه تقریبی \$700/kw جهت سیستم های 50kw و مقدار \$200/kw در سیستم های 2000 kw هستند. هزینه های نصب متغیر بوده ولی در حدود 75% هزینه تجهیزات می باشد. این توربین ها جهت حداقل عمر کاری 20 سال طراحی شده و تعمیرات کمی را نیازمند هستند.

توصیه :

در صورت خرید بویلر جدید یا دارا بودن بویلری با فشار بیشتر از 150psig امکان جایگزینی شیرهای فشار شکن را با توربوژنراتورها بررسی کنید.

- مقدار فشار واقعی مورد نیاز مصرف کننده ها را مشخص کنید .
- نمودارهای مربوط به گذر بخار بر حسب زمان را در هر ایستگاه تقلیل فشار رسم نمایید .
- هزینه های سوخت و برق سایت را مشخص و ولتاژ لازم را معلوم نمایید.
- محاسبات لازم جهت نصب یک توربوژنراتور مرکزی یا چنر توربوژنراتور در ایستگاه های تقلیل فشار را بررسی کنید.

علاقمندان جهت دریافت اطلاعات بیشتر می توانند با شرکت پارس جم کنترل (شماره تلفن های 24-88708223 و www.pars-jam.com : website) تماس حاصل فرمایند.

به ادامه مباحث بازیافت انرژی سیستم های بخار در شماره بعد توجه فرمائید.

¹³ Electrical switchgear