

بسمه تعالی

افزایش فشار بویلر باز یافت حرارتی برای زمانی که توربین بخار تک بویلری می باشد .

نویسنده : علی ابراهیم پور ده سرخی
کارشناس مکانیک حرارت و سیالات
محمد رستمی
کارشناس ارشد مکانیک

شرکت مدیریت تولید و بهره برداری نیروگاههای سیکل ترکیبی خیام (نیشابور)

کلید واژه : نیروگاههای سیکل ترکیبی ، افزایش فشار بخار ، بخار HP ، حرارت نهان تبخیر ، تولید بخار ، بویلر باز یافت حرارتی ، محصولات احتراق ، توربین بخار ، والو های کنترلی

چکیده : در نیروگاههای سیکل ترکیبی زمانی که توربین بخار توسط بخار تولیدی تنها یک بویلر باز یافت حرارتی (HRSG) در مدار می باشد ، فشار بخار HP در بویلر از ۹۰ اتمسفر به حدود ۶۵ اتمسفر کاهش پیدا می نماید و این کاهش فشار منجر به کاهش تولید بخار در بویلر باز یافت حرارتی می گردد و کاهش تولید بخار در بویلر ها از تولید انرژی الکتریکی می کاهد و در این مقاله سعی شده است به آن پرداخته شود و راههای برای جبران این کاهش تولید ارائه گردد .

شرح مقاله

محصولات احتراق خروجی از توربین گاز که بخش زیادی از انرژی آنها در توربین گاز گرفته شده است با دمای ۵۴۰ درجه سانتیگراد وارد بویلر های باز یافت حرارتی می شود و این محصولات احتراق انرژی مورد نیاز بویلر های باز یافت حرارتی را تأمین می نماید ، آب موجود در رایزرهای LP ، IP و HP بویلر داغ شده و در فشار آن لحظه ی بویلر شروع به جوشیدن و تبخیر شدن می نماید .

آب و بخار وارد درامها شده و پس از جداسدن آب از بخار ، بخار وارد مسیر سوپر هیترها می گردد و پس از رسیدن دمای بخار به ۵۱۳ درجه سانتیگراد در مسیر HP و ۲۳۵ درجه در مسیر IP به سمت توربین بخار ارسال می شود .

یک مدول سیکل ترکیبی شامل دو واحد توربین گازی با ظرفیت اسمی ۱۲۳ مگاوات و دو عدد بویلر باز یافت حرارتی به ظرفیت $147/78 \text{ ton/hr}$ ($41/05 \text{ kg/s}$) بخار HP در فشار ۸۸/۵ اتمسفر و دمای ۵۱۳ درجه سانتیگراد و $38/96 \text{ ton/hr}$ ($10/82 \text{ kg/s}$) بخار IP در فشار ۷/۹ اتمسفر و دمای ۲۳۵ درجه سانتیگراد و یک عدد توربین بخار با ظرفیت ۱۰۰/۵ مگاوات می باشد.

زمانیکه توربین بخار در یک مدول با دو عدد بویلر باز یافت حرارتی در مدار باشد فشار های بخار HP و بخار IP همان فشار طراحی بوده و تولید بخار در بویلر ها در حداکثر خود قرار دارد ولی زمانیکه یکی از بویلر های باز یافت حرارتی از مدار خارج شود و توربین بخار با تنها یک عدد از بویلر های باز یافت حرارتی در سرویس باقی بماند ، بدلیل وضعیت کنترلهای توربین بخار ، پائین آمدن فشار بویلر در مسیرهای IP , HP را به دنبال دارد .

وضعیت تولید بخار در بویلر های باز یافت حرارتی با تغییرات فشار

عملکرد بویلر های باز یافت حرارتی در فشارهای مختلف متفاوت می باشد . با توجه به سیکل ترمودینامیکی بویلر های بخار با افزایش فشار آب داخل بویلر ، حرارت نهان تبخیر آب کاهش پیدا می کند تا آنجا که در فشار بحرانی ($22/09$ اتمسفر فشار مطلق) آب در دمای $374/14$ درجه سانتیگراد به یک باره از فاز مایع به فاز بخار می رود .

از آنجا که توربین بخار می بایست همواره دارای بخار سوپر هیت بوده و رسیدن بخار به دمای اشباع برای توربین بخار مضر می باشد و بدلیل محدود بودن دمای محصولات احتراق خروجی از توربین گاز ، افزایش فشار در بویلر های باز یافت حرارتی محدود می باشد .

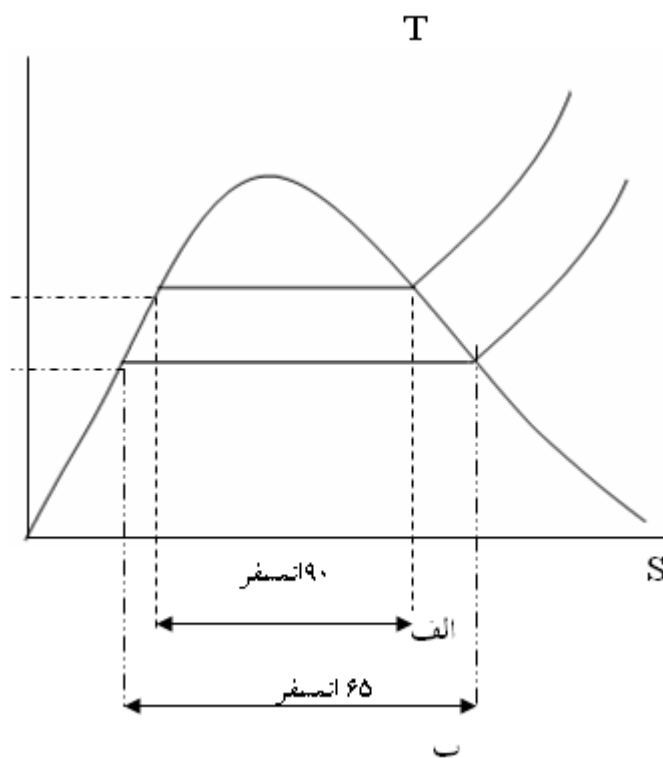
دمای محصولات احتراق خروجی از توربین گاز به شرایط توربین بخار بستگی نداشته بلکه دما و دبی محصولات احتراق خروجی از توربین گاز به توان توربین گاز بستگی داشته و امکان بالابردن فشار بویلر های باز یافت حرارتی تا ۹۰ اتمسفر وجود دارد .

چنانچه توربین بخار با یک بویلر باز یافت حرارتی در مدار باشد فشار HP از ۹۰ اتمسفر به ۶۰ اتمسفر کاهش می یابد و تولید بخار در بویلر های باز یافت حرارتی از 41 kg/s به کمتر از 40 kg/s می رسد که با توجه به نمودار آنتروپی - دما ، این کاهش تولید مربوط به افزایش حرارت نهان تبخیر آب در اثر کاهش دما می باشد .

تغییرات آنتالپی در بویلر های باز یافت حرارتی

برای آنکه به واقعیت نزدیک باشد از فشارهای واقعی در زمان کار دو بویلر باز یافت حرارتی که یکی (بویلر A) در فشار ۹۰ اتمسفر و دیگری (بویلر B) در فشار ۶۵ اتمسفر با توربین گازهای با حداکثر توان خروجی در مدار بوده اند برداشت شده است

با توجه نمودارهای T-S (آنتروپی - دما) و T-H (آنتالپی - دما) آب مادون سرد که وارد اکونومایزر HP بویلر باز یافت حرارتی می شود در بویلر A با فشار ۹۰ اتمسفر و دمای ۱۵۵ درجه سانتیگراد وارد و آب اشبا با دمای ۳۰۲ درجه سانتیگراد و فشار ۹۰ اتمسفر خارج شده و وارد درام HP می شود .



الف (میزان حرارت مورد نیاز برای تبخیر آب در فشار ۹۰ اتمسفر
 ب) (میزان حرارت مورد نیاز برای تبخیر آب در فشار ۶۵ اتمسفر
 $h_f = ۱۳۶۳ \text{ kJ/kg}$ آنتالپی ورودی به اواپراتور
 و بخار در شرایط خروجی از اواپراتور ، آنتالپی $h_g = ۲۷۴۲ \text{ kJ/kg}$ دارد .

اختلاف آنتالپی در این شرایط $h_{fg} = 1378 \text{ kJ/kg}$ می باشد .
 در بویلر B آب با فشار ۶۵ اتمسفر و با دمای ۲۸۰ درجه سانتی گراد وارد درام و اواپراتورهای HP می شود که در این شرایط آنتالپی آب $h_f = 1226 \text{ kJ/kg}$ و آنتالپی بخار $h_g = 2778 \text{ kJ/kg}$ می باشد .

اختلاف آنتالپی در این شرایط $h_{fg} = 1552 \text{ kJ/kg}$ می باشد .

$$h_{fg \ 65} - h_{fg \ 90} = 1552 - 1378 = 174 \text{ kJ/kg} \quad (1)$$
 ملاحظه می شود طبق رابطه (۱) با تغییر فشار HP از ۹۰ اتمسفر به ۶۵ اتمسفر 174 kJ/kg حرارت بیشتر لازم است تا همان میزان آبی که در فشار ۹۰ اتمسفر تبخیر شده بود در فشار ۶۵ اتمسفر تبخیر گردد .

$$Q = m * h_{fg} = 40 \text{ kg/s} * 174 \text{ kJ/kg} = 6960 \text{ kJ/s} \quad (2)$$
 همانگونه که در رابطه (۲) مشخص شده است برای تولید بخار در فشار پائین تر نیاز به حرارت بیشتری می باشد و با توجه به محدود بودن دبی محصولات احتراق خروجی از توربین گاز ، تولید بخار در بویلر باز یافت حرارتی کاهش پیدا می کند

$$Q = m * h_{fg} = 42 \text{ kg/s} * 1378 \text{ kJ/kg} \quad (3)$$

$$Q = 57876 \text{ kJ/s}$$

$$Q = m * h_{fg} = m * 1552 = 57876 \text{ kJ/s} \quad (4)$$

$$m = 38 \text{ Kg/s}$$

ملاحظه می شود دبی بخار در زمانیکه بویلر های باز یافت حرارتی با فشار ۶۵ اتمسفر کار می کنند حدود ۴ کیلوگرم بر ثانیه کمتر از حالتی است که با ۹۰ اتمسفر کار می کند .

عوامل مؤثر در افزایش راندمان و تولید بخار در بویلر های باز یافت حرارتی

- اولین عامل افزایش راندمان :

با افزایش فشار در بویلر های باز یافت حرارتی میزان آنتالپی از $h_{f \ 65} = 1240 \text{ kJ/kg}$ به $h_{f90} = 1363 \text{ kJ/kg}$ افزایش می یابد و چون دمای آب ورودی به بویلر های باز یافت حرارتی در هر دو حالت ۱۵۵ درجه سانتیگراد می باشد ، مقدار آنتالپی در این دما و برای هر دو فشار مختلف $h_f = 654 \text{ kJ/kg}$ می باشد .

که رسیدن آنتالپی به 1363 kJ/kg در فشار ۹۰ اتمسفر، حرارت بیشتری از محصولات احتراق ناحیه اکونومایزرها جذب می نماید وبا توجه به مسیر حرکت محصولات احتراق باعث بالا رفتن راندمان بویلر های باز یافت حرارتی می شود .

یادآور می گردد با توجه به اینکه با کاهش فشار درام HP ، در خروجی پمپ های تغذیه آب بویلر های باز یافت حرارتی فشار افزایش پیدا می کند لذا کار پمپ ها تا حدی افزایش می یابد .
- دومین عامل افزایش راندمان :

با لا رفتن دبی بخار باعث افزایش تبادل حرارت بین محصولات احتراق و بخار می گردد ودمای دود خروجی از دودکش بویلر پائین آمده و راندمان حرارتی بویلر های باز یافت حرارتی بالا تر می رود و ازطرف دیگر افزایش دبی بخار باعث افزایش تولید توان در توربین بخار می گردد .

افزایش فشار در بویلر های باز یافت حرارتی

یکی از راههای افزایش فشار در بویلر های باز یافت حرارتی تغییر ست پوینت کنترل والوهای توربین بخار می باشد با تغییر ست پوینت HP Presser Unit set point می توان فشار HP بویلر های باز یافت حرارتی را تا مقدار دلخواه بالا برد ولی بدلیل افزایش سرعت بخار خروجی از کنترل والوهای HP توربین بخار تمامی عوامل تأثیر گزار بر روی این والوها بایستی شناسایی و مرتفع گردد.

نتیجه گیری

بالا بردن فشار در بویلرهای تولید بخار می تواند با کاهش حرارت نهان تبخیر آب ، راندمان حرارتی را افزایش داده و با تولید بیشتر بخار وبالا بردن دبی جرمی بخار ، تولید انرژی الکتریکی را افزایش دهد . با توجه به اینکه جهت تولید انرژی الکتریکی نیاز به سرمایه گذاری زیاد برای ساخت نیروگاه می باشد و از طرفی برای تولید برق در نیروگاهها نیاز به سوخت (گاز طبیعی یا گازوئیل) می باشد ، افزایش تولید انرژی الکتریکی ارزش اقتصادی بالایی دارد .

منابع و مأخذ

۱- ترمودینامیک کلاسیک

نوشته : ون وایلن

۲- نیروگاههای حرارتی ، آبی وهسته ای

نوشته : محمد محمد الوکیل

۳- TRAINING MANUAL BY FOSTER ENERGIA , S.WHEELER

A.

۴- STEAM TURBINE GENERATOR BY SIEMENS