دانشگاه آزاد اسلامی
واحد تهران جنوب
دانشکده فنی مهندسی، گروه مهندسی برق

پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی

مهندسی برق قدرت

عنوان

بررسی افزایش راندمان توربین های گازی توسط سیستم مدیا

استاد راهنما :

مهندس مسعود سرپاک

دانشجو :

کاوه احمدی

تابستان ۱۳۸۳

فهرست :

فصل اول : تأسیسات فاگ

فصل دوم : ملاحظات اقتصادی و تکنولوژیکی برای عملیات افزایش کارایی نیروگاه سیکل ترکیبی

چکیده
مقدمه
افزایش خروجی
خنک سازی هوای ورودی توربین گاز
خنک سازی تبخیری
روش خنک سازی تبخیری
تئوری خنک سازی تبخیری
کولر های تبخیری wetted-honeycomb(خانه زنبوری-ترشده)
میزان نیا ز آب برای کولر های تبخیری
مه پا ش ها
موا د تبخیر کننده و مقایسه مه پاشی
موا د تبخیر کننده
مه پاشی ورودی
خنک سازی ورودی تبخیری
سرد سا زی ورودی
روش های سرد سازی ورودی
ذخیره کننده ا نرژی حرارتی Off-Peak
مقایسه خنک سازی مستقیم و ذخیره انرژ حرارتی
تبخیر کننده های گا ز LNG/LPG
افزایش قدرت
تزریق بخار/ آ ب توربین گاز
مکمل آ تش HRSG
آتش زنی پیک
تاریخچه ا فزایش خروجی

افزایش راندمان
گرما دادن سوخت
مطالعه حالت افزایش عملکرد
فرضیات/پایه توصیف نیروگاه
توصیف روشها
بحث
مجرای آ تش HRSG
خنک سازی مه پا شی / تبخیری ورودی توربین گا ز
سرد سا زی ورودی توربین گا ز
نتایج
مجرای آتش HRSG
مه پا شی ورودی هوای توربین
خنک سا زی تبخیری توربین گا ز
سرد سازی هوای ورودی توربین گا ز
نتیجه گیری
مراجع
فهرست معانی
اصطلاحات اقتصادی
اصطلاحات دیگر

فصل اول :

تأسیسات فاگ

نازلهای فشار بالا

نازلهای مه ساز تأسیسات فاگ مخصوص که در تأسیسات ما استفاده میشوند محصول تحقیقات و فعالیتهای توسعه هستند و از آلیاژهای کیفیت بالای فولاد ضد زنگ ساخته میشوند (کرم-نیکل-مولیبدنم- تیتانیم). سوراخ نازل مته کاری می شود و بوسیله پروسه خاصی آن را پوشش می دهند. (که این کار توسط شرکت المرانجام می شود) و سوراخهایی در اندازه ۳۵۰-۶۰ میکرون ایجاد می کنند.

شکلها تعدادی از نازلها را به همراه واشر و فیلتر آنها نشان می دهند.

ماشینهای پیشرفته با دقت بالاکه فقط برای این پروسه توسعه داده شده اند بالاترین کیفیت و دوام بسیار بالای نازلهای ما را تضمین میکند. نازلها در مقابل تقریباً تمامی طریقه های خوردگی مقاومند و به علت سرعت بسیار بالای خروج از رسوبهای آهکی مصون می مانند. نازلهای ما طوری طراحی شده اند که به مانند نازلهای حلقوی کار می کند و این امر همراه با کیفیت بالای مواد، آنها را از تمام انواع مشکلات مکانیکی ایمن می سازد اسناد و اوراق نازلهای مه ساز ما برای تمامی کاربردها مناسب می باشد از کاربردهای ساده گرفته تا کاربردهای صنعتی در مقیاس بالا مانند بستن ماسه از این رو ما نازلهایی با طیفی گسترده داشته و حتی سرنازلهایی با تعداد ۸ نازل می سازیم ما تنها

تولیدکننده نازل در کل جهان هستیم که با در نظر گرفتن شرایط عملیاتی سوراخ نازلها را در مقابل فرسایش تا ۱۰ سال ضمانت خواهد کرد .

چپ : نازل تنها ۱۰۰ – k۲

راست : سر نازل با٤ نازلی که بر سر آن سوار است

در دو عکس فوق نازلها در حال جاری شدن مه نشان داده شده اند.

مشخصات کلی

پیچ اتصال	استاندارد
مهرهای آب بندی	فولاد ضد زنگ که لاستیک کاری شده (هیچ مهر آب بندی دیگری لازم نیست)
نازل داخلی میکرو فیلتر	فیلتر یک طرفه با جداسازی ۲۰ میکرونی
زاویه خروج	بر حسب نوع نازل و کاربرد آن ۳۰ یا ۶۰ یا ۸۵ درجه می باشد
پرتاب	بر حسب سوراخ نازل .۵ تا ۳ متر
فشار عملیاتی	۶۰ تا ۸۰ بار

طیف ذرات و قطرات

طیف قطرات تحت تأثیر پارامترهای زیر می باشد.

- ❖ هندسه نازل و ابعاد آن
- ❖ فشاری که با آن مایع وارد نازل می شود یا به عبارت دیگر فشار تغذیه جریان

سوراخ یا دهانه نازل اولین جایی است که مقدار آب خروجی در واحد ساعت را کنترل می کند.

نازلهای استاندارد قطراتی به قطر ۵ تا ۵۰ میکرون تولید می کنند که تقریباً ۸۰٪ ذرات تولید شده دارای ابعادی بین ۲۵ تا ۵۰ میکرون می باشند و این نازلها مه یکنواخت که آزادانه معلق است را تولید خواهند کرد.

پمپهای فشار بالای (پلانت فاگ)

بر طبق ویژگیهای کاربردی، محدودیت و حجم یک سیستم مه ساز، یک بخشی از پمپهای فشار بالا با الکتروموتور برای تغذیه نازلهای مه ساز با فشار ۶۰ تا ۸۰ بار موجود می باشد.

لوازم پمپ پلانت فاگ برای انجام دادن کاری با استاندارد و کیفیت بالا که ما آن را به عنوان یک الزام می دانیم، طراحی و ساخته می شود. کمترین دوره گارانتی ۳ سال یا ۳۰۰۰ ساعت فعالیت است. سیستمها طبق دفاتر راهنما مورد تعمیر و نگهداری قرار می گیرند. این دوره های بلندمدت غیرعادی گارانتی می تواند به وسیله موارد زیر تأمین شود:

- پمپی با مکش آب فشار پایین و مخزن ضربه گیر (با کنترلر حجم اتوماتیک و اخطار دهنده سطح آب به شکلی استاندارد)

- فیلترهای ورودی آب (۱۰ فیلتر و فیلتری با منافذی به قطر ۱۰ میکرون) و حفاظت در مقابل ورود خزه و جلبک
- کاربرد منحصر به فرد با کیفیت ترین پمپ های مکنده صنعتی استاندارد (با میل لنگ ومحور آهنی،پیستون سرامیکی و با پوشش فولادی و یا آلیاژی از مس)
- عملکرد هیدرولیکی برای روان سازی
- شیرهای آن لودر با حجم بالا
- بدون لرزش و با فشارسنجهای که با گلیسیرین مرطوب شده اند.
- قطع کننده اتوماتیک برای مواقعی که آب یا فشار کم است
- عملکرد ضربه گیری تا حدود ۱۰ تا ۱۵٪
- موتورهای خود راه انداز معمولاً با سرعت پایین (۷۵۰ یا ۱۰۰۰ دقیقه/دور) با ولتاژ ۲۳۰ ولت تکفاز یا ۴۰۰ ولت ۳ فاز
- و موارد دیگر

دستگاههای پمپ

در وضعیت استاندارد پمپهای ما به وسیله موتورهای الکتریکی با ولتاژ ۲۳۰ ولت تکفاز یا ۴۰۰ ولت سه فاز راه اندازی می شوند. هر زمان ممکن باشد ما از موتورهایی با نویز کم و دور کم استفاده می کنیم (۷۰۰ تا ۱۰۰۰ دور در دقیقه) برای استفاده های خاص پمپها همچنین می توانند بوسیله موتورهای بنزینی یا دیزلی راه اندازی شوند و یا به طور مستقیم با یک چرخ دنده(کلاج) برای مثال به یک تراکتور متصل گردد.

استقرار پمپ سه تایی نوع ۱۰۵۰ . ۳۱ تا ٦۳ لیتر بر دقیقه

پمپ سیار نوع ۳۱۰ ۷,۵ تا ۲۲ لیتر بر دقیقه

وضعیت های ویژه

بر طبق سفارش مشتری یا شرایط محلی دستگاههای پمپ می توانند در وضعیت های مختلف طراحی شوند. برای مثال به عنوان پمپهای سیار، پمپهای کوچک در مخازن یا سیستمهای کاملی که در برگیرنده مخزن و اتاقک کنترل در یک محفظه ایزوله شده نسبت به صدا می باشند. مخازن و پمپها می توانند بسته به فضای موجود چیده شوند پهلو به پهلو یا بالای هم دیگر. برای مثال دستگاههای چندمنظوره در تأسیسات بزرگ.

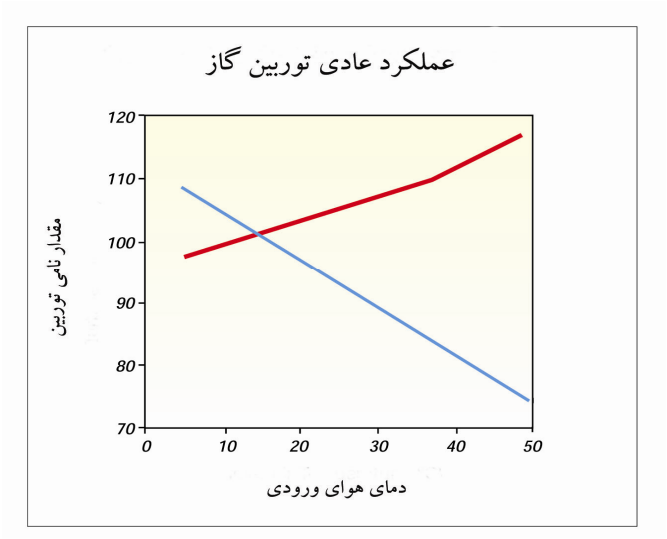
شرکت بین المللی . کلاس جهانی

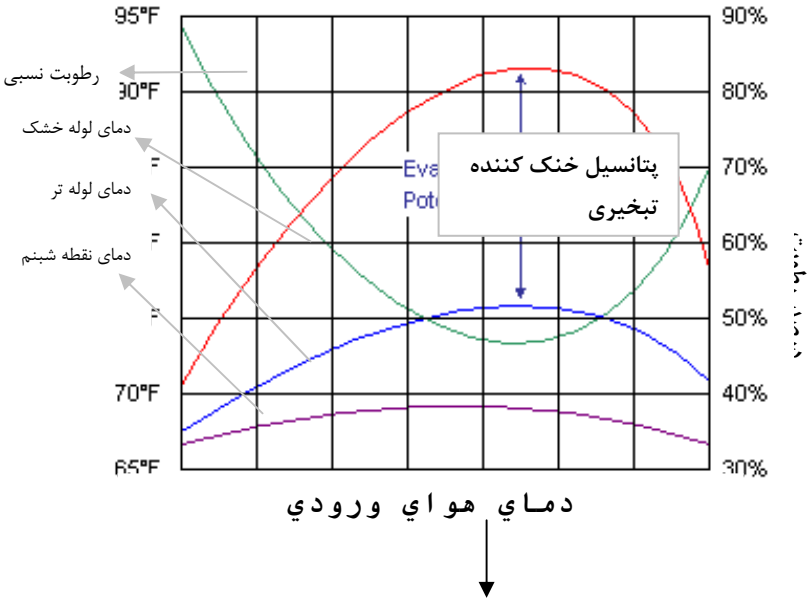
با داشتن نمایندگی در ۶۶ کشورآ آاف یک شرکت بزرگ جهانی می باشد. واحدهای پخش صنعتی و انرژی رنج وسیعی از محصولات فیلتراسیون هوا و خنک ساز ورودی که از مدیا استفاده می کنند و در ۳ قاره ساخته می شوند را می فروشد. شرکت منابع تغذیه فیلتراسیون هوا و پکیج های آکوستیک را به عنوان تجهیزات اصلی و به عنوان راه حلی بهتر تولید می کند.

راه حل های کم هزینه بین المللی از مراکز مهندسی داخلی که در آمریکا و انگلیس و فرانسه هستند استفاده می کند.

خنک سازی ورودی

خنک سازی ورودی می تواند توان قابل ملاحظه و بهبود بازده حرارتی را برای تجهیزات اصلی و در شرایط خاص ایجاد کند. آ آ اف طیف وسیعی از محصولات را تولید می کند که از تکنیکهای زمان سنجی شده برای تبخیر و یااز مدرن ترین وسائل تبرید استفاده می کنند.





توربینهای گازی حجم ثابتی از هوا را برای یک سرعت دورانی داده شده جذب می کنند، توان خروجی آنها هر روز به ازای افزایش دمای محیط تغییر می کند. معمولاً ۰/۵٪ کاهش توان از $^{\circ}F$ ۱ افزایش دما نتیجه می شود و در مناطق گرم این تغییر در توان خروجی می تواند قابل ملاحظه و باارزش باشد. کاهش دمای لوله مرطوب (که تفاوت بین دمای لوله خشک و دمای لوله مرطوب در یک زمان داده شده می باشد) نشان می دهد که چه مقدار دمای هوای محیط می تواند به وسیله خنک ساز تبخیری پایین آورده شود.

سیستمهای فاگینگ افت فشار بسیار کمی را به توربین گاز اعمال می کنند. ردیف نازل و لوله چندشاخه برای سرویس دهی به کنترلر آب و مرکز هوا که معمولاً جنب محفظه فیلتر هوا قرار دارد به راحتی نصب می گردد.

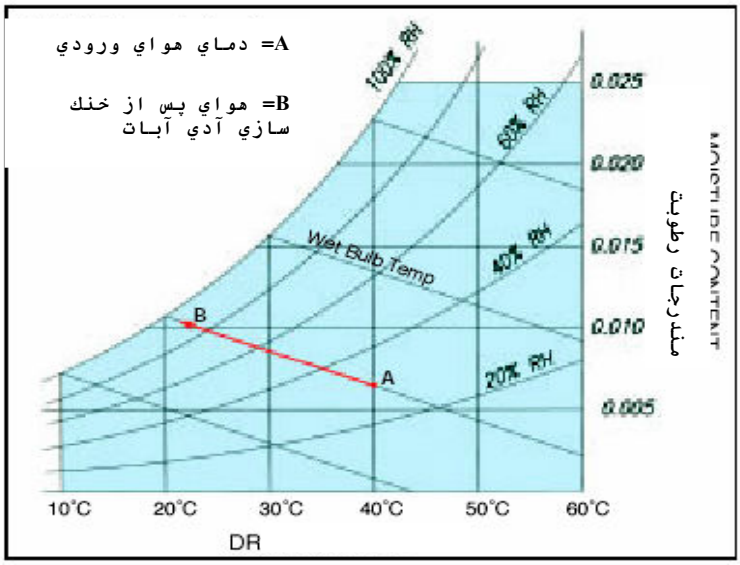
سیستمهای فشار بالایآ آ اف از فولاد ضد زنگ برای عمر طولانی و نگهداری کمتر استفاده می کنند.

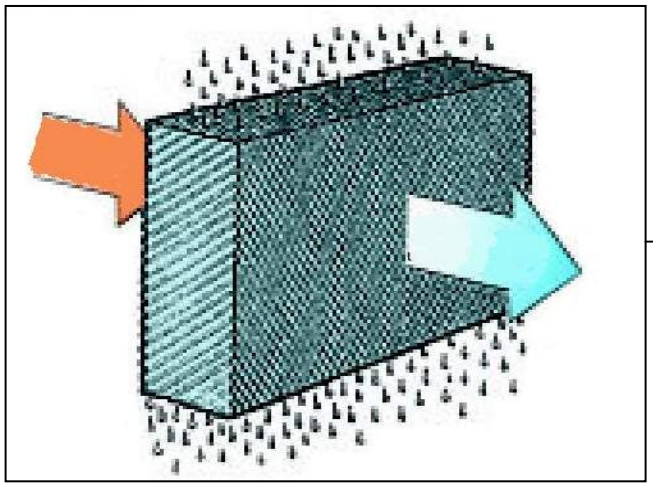
اینها شامل نازلهای پاشش،پمپها،لوله ها ودرزگیرهاست.

خنک کننده تبخیری AMER-KOOL ۱۱۱

زمانیکه خنک کننده تبخیری به هوای احتراق مکیده شده اعمال می گردد باعث کاهش حرارت و افزایش بازده موتور بوسیله بالا بردن چگالی هوامی شود. هوایی که چگالی آن افزایش یافته در بالابردن نسبت جریان جرم مخصوص در موتور مؤثر است و همچنین باعث بهبود خروجی و بازده سوخت می باشد. اثر دیگر آن کاهش پخش اکسیدهای نیتروژن می باشد. خنک کننده های تبخیری معمولاً در پایین دست سیستم فیلتر نصب می شوند جایی که مدیا از بار آلاینده محیط محافظت می شود که این خود منجر به طولانی شدن عمر و ثابت شدن افت فشار می شود.واحد AMER-KOOL III برای ماکزیمم کردن عملکرد با کمترین افت فشار طراحی شده است تماس

هوا با آب در یک مدیای شیار دار حاصل می گردد. یک کانال ورودی بزرگ طوری قرار گرفته است که بیشترین سطح تماس تبخیری بین هوا و سطوح مرطوب را ایجاد نماید. این امر به AMER-KOOH III اجازه می دهد که با کمترین افت فشار کار کند در حالیکه مقدار انتقال آب قابل صرف نظر باشد .



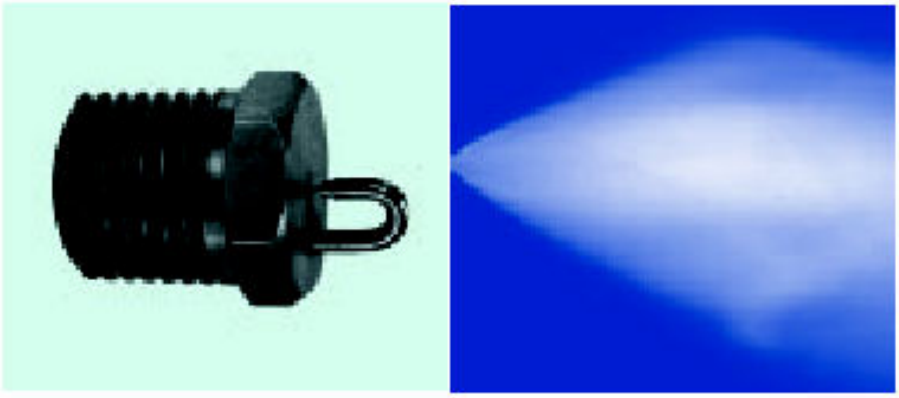


برای کاربردهای توربین گاز یک حذف کننده بخار سرعت بالا در قسمت انتهایی مدیا قرار گرفته تا هر قطره آب مزاحمی را از بین ببرد

خنک سازی تبخیری به وسیله فاگینگ (مه پاشی)

- خنک سازی به وسیله فاگینگ می تواند ۱۰۰٪ خنک سازی آدی آبات را نتیجه دهد.
- خنک سازی به وسیله اسپری کردن ورودی می تواند افزایش توان اضافی قابل ملاحظه ای را باعث شود.
- بهبودایده آل پتانسیل با کمترین اثر روی ساختار و ترکیب موجود
- کمترین زمان راه اندازی
- هزینه اولیه کم و زمان برگشت سرمایه سریع
- کمترین تلفات زائد
- افت فشار جزئی

مفهوم اصلی سیستم فاگینگ اسپری کردن ذرات آب تحت فشار بالا (۷۰ تا ۲۰۰ bar) بر روی جریان هوا می باشد. نازلهای اسپری کننده فشار بالای آ آ اف برای تولید ذره های بسیار ریز مه طراحی شده اند ذره هایی با قطر تقریبی ۱۰ میکرون مطلوبست بطوریکه آنها تبخیر سریعتری نسبت به اندازه های بزرگتر دارند بطور کلی یک اپراتور توربین گاز بیشترین کاهش فشار را در میانه روز و اوایل بعدازظهر تجربه خواهد کرد اگر چه شرایط واقعی آنست که افت فشار به صورت تدریجی و اندک اندک در طی هر روز خواهد بود. سیستمهای فاگینگ می توانند بوسیله سیستمهای کنترل مدوله شده محقق یابند. بنابراین اسپری آب در چند مرحله انجام می شود. سیستم کاملاً اتوماتیک وار مدوله می شود و با درجه حرارت محیط و درجه رطوبت نسبی به طور پیوسته بررسی می شود و محرکهای پمپ و سوپاپ به وسیله این فرآیند اندازه گیری پیوسته کنترل می شوند.



چیلرها

ذخیره تک منبعی

آ آ اف همراه با کمپانی ام کوآی کل محدوده سیستمهای تبرید راکه شامل قسمتهای مکانیکی و چیلرهای جذبی است بفروش می رسانند.

هوای ورودی معمولاً بوسیله عبور از میان یک بوبین پره دار (که از لوله هایی تشکیل شده است) خنک می شود و دمای هوا نباید کمتر از $۵^{\circ}C$ (۴۱ درجه فارنهایت) باشد تا ازتشکیل ایجاد یخ روی بوبین جلوگیری شود. تبرید همیشه صرف نظر از شرایط محیطی دمای طراحی شده ورودی را ایجاد می کند. بر خلاف سیستم های تبخیر که تأثیر خود را در شرایطی که رطوبت بالاست از دست می دهند.

چیلرهای مکانیکی

بخار خنک شده بوسیله یک پیچک با حرکت رفت و برگشتی، یا کمپرسور گریزاز مرکز فشرده می شود. پس از کمپرسور بخار از میان یک چگالنده عبور می کند. بخار چگال سپس منبسط می شود تا اثر خنک سازی خود را بگذارد .

بخارکننده آب خنک را سرد می کند که آن هم در مجرای بوبین خنک کننده توربین چرخانده می شود.هم آمونیاک و HFC-۱۳۴a هم می تواند به عنوان ماده خنک کننده بکار برود.

آ آ اف ام کو آی چیلر آمونیاک همراه با خنک سازی مستقیم هوا را عرضه می کند بدون اینکه مدار آب خنک و همچنین محصول HFC-۱۳۴a را تولید می کند که آن هم یک مدار ثانویه آب خنک دارد.

چیلر در محوطه
آ آ اف نصب شده

بخار داغ

سوئیرل فلاش یک تکنولوژی منحصر به فرد مبتنی بر یک سیستم ابداعی برای پاشش ذرات و ریزسازی آنها می باشد. در این روش مایع (آب یا سوخت) که دمای آن افزایش یافته است به صورت اسپری پاشیده می شود و با فشار از یک نازل چرخشی خارج می شود و شعله و فروزش ناگهانی مواد منفجره فضا را اشغال می کند، نتایج این کار به نحو خیره کننده ای جالب و جذاب است. ذرات و قطرات کوچک به شکل بسته های بسیار داغی در می آیند که به شدت قابلیت تبخیرشدن دارند. ترکیب نتایج اسپری کردن و پاشش مایع از طرفی و فروزش و جرقه ناگهانی از طرف دیگر باعث می شوند که قطرات تقریباً ۱۰۰۰ بار کوچکتر، کم حجم تر و سبک تر از وقتی باشند که ما تنها از یک نازل دورانی استفاده می کنیم. این روش باعث می شود کار اضافی که توسط کمپرسور مثلاً در توربین گاز انجام می شود کاهش یابد اما تمایل زیادی برای تزریق سوخت در محفظه احتراق می باشد که باعث کاهش NO_X می شود و از تشکیل ذرات دوده جلوگیری می نماید.

تزریق سوئیرل فلاش برای بهبود کارکرد نیروگاه

سیستمهای آلفا پاور تکنولوژی سوئیرل فلاش را عرضه می کنند که انقلاب و نوآوری در سیستم ریزسازی برای تزریق آب در توربینهای گازی، موتورهای گازی و دیزلی می باشد. این تکنولوژی قابل کاربرد برای افزایش توان، کاهش خروج NO_X و یا بهتر کردن قابلیت انعطاف پذیری مؤثر نیروگاه می باشد.

اسپری بی نهایت ریز خطر فر سایش پره کمپرسور را به حداقل می رساند. دمای تخلیه کاهش یافته، طول عمر اجزای داغ را افزایش داده و هزینه های تعمیر را کاهش داده است.

محصولات سوئیرل فلاش و سرویسهای مشاوره ای ما هدفشان تأسیسات جدید موجود می باشد که شامل موارد زیر است:

۱- تأسیسات توربین گازی شامل توربین صنعتی و هواپیما

۲- موتورهای گازی

۳- موتورهای دیزلی

۴- کمپرسورهای محوری و شعاعی

۵- کاربردهای ویژه

اگر برای شما افزایش توان،کاهش پخش اکسیدهای نیتروژن؛ بهبود بخشیدن انعطاف پذیری عملکرد نیروگاهتان و کاهش هزینه عملیاتی مهم است، به سیستمهای آلفا پاوراجازه دهید تا سیستم شما را بررسی کرده و به شما در کاهش هزینه هایتان کمک کند. افزایش سودآوری مدنظر هر مدیر نیروگاهی می باشد ما می توانیم شما را در رسیدن به اهدافتان یاری کنیم.

سیستم پیچشی (سوخت) :

۱- سیستم قوی و یگانه برای پاشیدن سوخت و آب

۲- پراکندن بیشتر قطرات بسیار ریز آب (حدود ۳-۲ میکرون) در کمپرسور

۳- پاشیدن سوخت جهت کاهش NO_X و کاهش دوده

بهبود کارآیی کلی توربینهای گازی

۱- افزایش ۲۰-۱۰ درصد قدرت

۲- کاهش ۴۰-۲۵ درصد NO_X

۳- بهبود راندمان ۳-۲ درصد

۴- افزایش قابل ملاحظه عمر قطعات در تماس با گاز داغ

محصولات و خدمات

تحویل آماده و به موقع سیستمهای افشاننده برای توربین گاز

نصب سیستم افشاننده ضدزنگ قوی برای افزایش ۱۰ تا ۲۰ درصد توان و ۲۵ تا ۴۰ درصد کاهش گازهای NO_X و افزایش انعطاف پذیری

بررسی سریع امکانات برای سیستم های در حال کار

ارزیابی تولید توان یا نصب کمپرسور و ارزیابی تأثیرات بهینه سازی با سیستم تزریق آب سوئیرل فلاش یک گزارش موشکافانه که دربرگیرنده توصیه ها و مشخصات اساسی و مقدماتی می باشد تهیه شده است که نشان می دهد چگونه راه حلهای اقتصادی و فنی تراز اول را نگهداری و استفاده کنیم.

تجزیه و تحلیل ریسک به کارگیری سیستمهای سوئیرل فلاش

در تأسیسات خاص و بحرانی

مرکز خدمات مشاوره ای دفترچه راهنمایی را تهیه کرده که دربرگیرنده پیشنهاداتی مبنی بر جایگزینی برخی قسمتهای سیستم سوئیرل فلاش در مناطق و تأسیسات بحرانی می باشد.

سرپرستی،تست و نمایندگی

برای اجرای پروژه ای بی دردسر و اجتناب از مسائل مختلف شرکت APS پیشنهاد نظارت، آزمایش و خدمات نمایندگی را در طی نصب و راه اندازی سیستم سوئیرل فلاش ارائه می دهد.

تکنولوژی سوئیرل فلاش

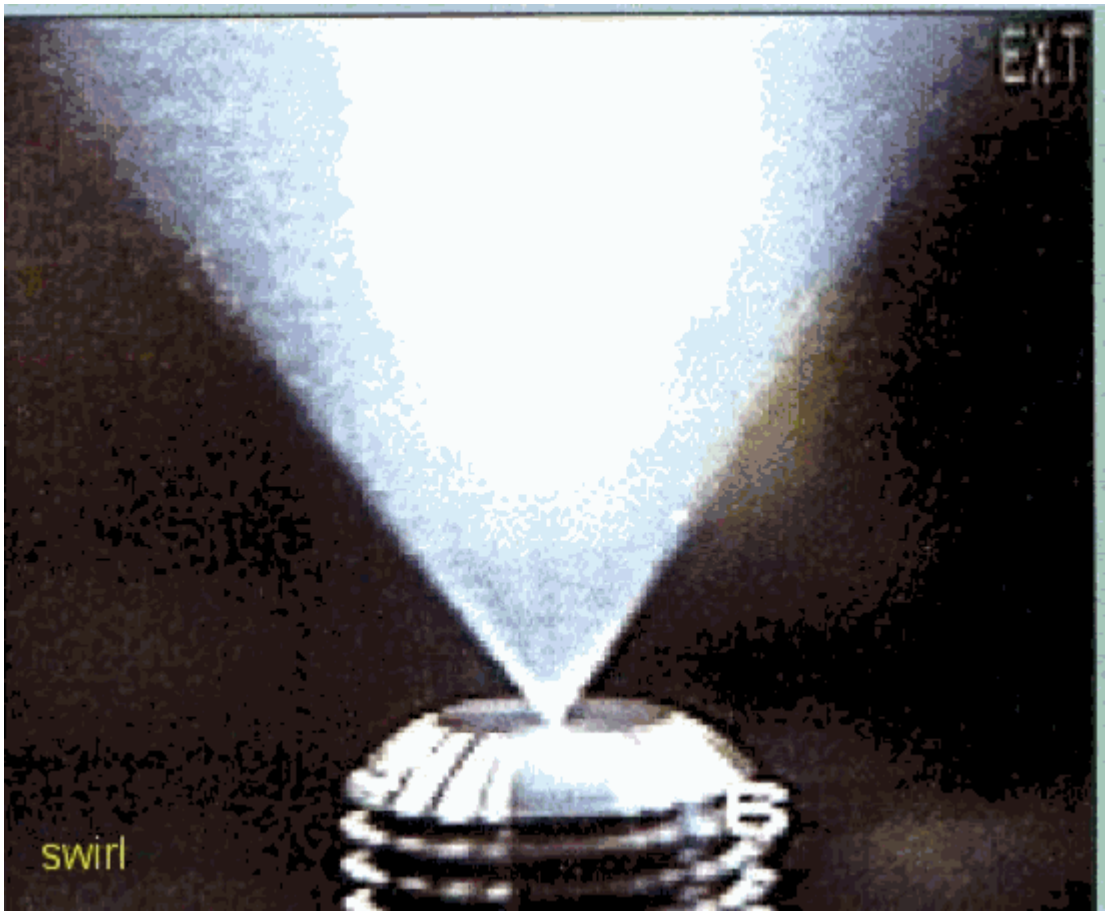
ایده پایه: تراکم نیمه ایزوترمال

در توربین های گازی هوا به صورت آدیابات متراکم می شود (کمپرس می شود) بدین معنی که علاوه بر اینکه فشار تنظیم می شود گرم تر هم می شود. این گرما در حقیقت کاری است که از شفت یا ژنراتور گرفته می شود. کاری که در غیر این صورت بعنوان خروجی شبکه موجود خواهد بود. حق تقدم با کم کردن سهم کار پارازیتی می باشد که برای تراکم آدیاباتیک استفاده می شود. این مسئله می تواند بوسیله متراکم کردن (کمپرس کردن) هوا بوسیله بخار آب تحقق یابد، آنچه که تراکم (کمپرس) نیمه ایزوترمال خوانده می شود(به شکل صفحه بعد نگاه کنید) کمپرس هوا نیاز به انرژی کمتر در دماهای پائین در مقایسه با دماهای بالا دارد.

به خاطر حجم کوچکتر در بیشتر طراحی ها، سردکن برای کم کردن دما استفاده می شوند، اما تبادل کننده های گرماگران هستند و باید برای استفاده در هر جایی که ممکن است اجتناب گردد. بوسیله اسپری کردن آب به درون کمپرسور و اجازه دادن به قطرات برای بخار شدن می توان به یک تأثیر مشابه دست یافت. بودن آب در درون کمپرسور غیرمعمول نیست (برای مثال در طول تمیز کاری یا در یک توربین هواپیما، هنگام پرواز در میان توده ابر و مه یا باران) اگر چه تزریق آب با چرخش ساعتگرد می تواند سبب مشکلات فرسایش گردد. بنابراین قطرات باید کوچک باشند رقابت بر سر تولید یک اسپری با قطرات بسیار ریز (۱ تا ۵ میکرون) با اندازه مناسب برای سرد کردن هوا در طول کمپرس کردن می باشد. تجربه ها نشان می دهد که این می تواند بهترین راه باشد که بوسیله تکنولوژی سوئیرل فلاش انجام می شود.

تکنولوژی به ثبت رسیده بر پایه یک اصل علمی ساده اما قوی می باشد. فشار یک مایع تنظیم می شود (چهل تا صد و پنجاه بار) سپس گرم می شود تا حدود $۲۰۰^{\circ}C$ و به یک نازل چرخشی (سوئیرل) داده می شود. با توجه به حرکت چرخشی، مایع (برای مثال آب) به خارج از نازل یک طرح اسپری مخروطی شکل فوران می کند. سایز قطرات در حدود ۲۵ میکرون است. اگر چه هنگامی که آب بالای نقطه جوش در فشار محدود می باشد به تندی شروع به جوشیدن می کند. در نتیجه هر قطره ۲۵ میکرونی به هزار تکه تبدیل می شود که هر کدام دارای ابعادی در حدود دو و نیم میکرون می باشند.

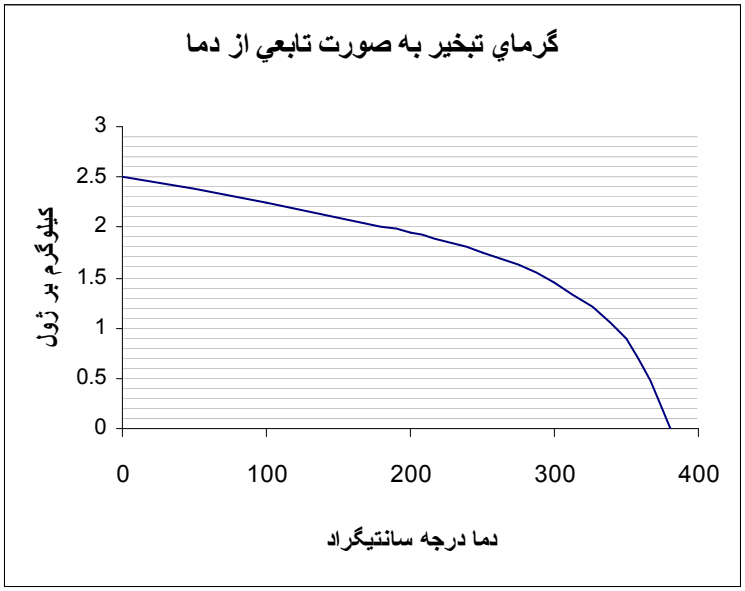
حلقه جریان اسپری شده از طریق نازل چرخشی به یک شکل مخروطی تبدیل می شود و ذرات بسیار کوچک اسپری شده به محض خنک شدن و تبخیر پایدار می شوند. توزیع اندازه قطرات در زیر نشان داده شده است و نمودار مربوط در صفحه بعد آورده شده است.



بیشتر از ۱۰ تیلیریار قطره در ثانیه

خنک کاری به وسیله حرارت دادن

این موضوع یعنی خنک کاری بوسیله حرارت دادن به نظر غیرعادی می آید اما اساس کار آن آسان و راحت می باشد. گرمای تبخیر آب، حرارت بیشتری را از محیط نسبت به حرارت اضافه شده از آب داغ جذب می کند در نتیجه درجه حرارت محیط افت می کند البته حرارت تبخیر بستگی به درجه دما دارد و در درمای بحرانی این حرارت صفر است. اما در رنج دمای بین ۱۵۰ تا ۲۵۰ سانتی گراد برای تشخیص خنک سازی مطلوب در تجهیزاتی مانند کمپرسور مقداری عملی و کافیست .



علم ترمودینامیک و جنبشی

مهمتر از علم ترمودینامیک، علم جنبش در تبخیر است. زمان مانا در یک کمپرسور کوتاه است برای یک کمپرسور محوری معمولاً ۱۰ میلی ثانیه می باشد برای یک کمپرسور شعاعی حتی کمتر است، یعنی اینکه تبخیر باید در حدود چند میلی ثانیه تکمیل شود . سایز کوچکی از قطره ها در ترکیب با دمای بالا باعث رسیدن به تبخیر با سرعت مطلوب می شود. هوای داغ ($۱۰۰^{\circ}C$) در یک لوله از چپ به راست با سرعتی برابر با صد متر بر ثانیه جاری می شود و عمود بر جریان هوا آب تزریق می شود. در ابتدا آب سرد است و قطره ها به دیوار مقابل می رسند سپس آب داغ $۲۰۰^{\circ}c$ به دهانه نازل می رسد. حالت اسپری تغییر کرده و لوله با قطره های ریز پر میشود. اندازه قطره ها بسیار کوچک است و مانند ایروسل ها رفتار می کنند، در حدود ۲۰-۳۰ سانتی متر پائین تر همه مه ناپدید می شود. این نشان دهنده تبخیر قطره ها می باشد. در سرعت صد متر بر ثانیه جریان هوا، این مسئله ۲ تا ۳ میلی ثانیه طول می کشد دما به $۶۰^{\circ}c$ افت می کند که این یعنی یک جریان هوای $۱۰۰^{\circ}c$ که عملاً بوسیله آب $۲۰۰^{\circ}c$ به $۶۰^{\circ}c$ افت می کند.

افزایش توان و کاهش NO_X

تزریق آب به روش سوئیرل فلاش منجر به یک دمای تخلیه کوچکتر در کمپرسور می گردد. به عبارت دیگر برای ثابت نگه داشتن دمای داخلی سیستم باید سوخت زیادی را فراهم کند. در ترکیب با کار پارازیتی کوچکتر برای کمپرسور این مسئله منجر به یک خروجی بزرگتر می گردد. توربین های یک شفتی یک افزایش توان ۱۰٪ را نشان می دهند، توربین های دو شفتی حتی می توانند این افزایش را بیشتر هم بکنند. چون شفت کمپرسور لزوماً به چرخشهای با تعداد دور ثابت محدود نمی گردد. همچنین نتیجه ای که کمپرسور می تواند ایجاد کند (بدون محدودیت) هوای اضافی می باشد وتوربین می تواند حتی توان بیشتری فراهم کند. هوای مرطوب شده کمپرسور همچنین دمای شعله آدیاباتیک STOEMECHIOMETRIC را در طول احتراق کاهش می دهد. برای گازهای منتشر شده، کاهش NO_X می تواند ۴۰ درصد باشد، برای محفظه های احتراق خشک NO_X پائین ۲۵ درصد است.

بهینه سازی توربینهای گازی بوسیله سوئیرل فلاش

در این فصل یک تکنولوژی جدید و بینظیر برای تزریق با اسپری شدید توربینهای گازی را شرح می دهد آنچه که به آن تکنولوژی سوئیرل فلاش می گویند. تکنولوژی سوئیرل فلاش آب گرم با فشار تنظیم شده برای بدست آوردن قطره های بسیار کوچک که رفتار آنها مانند ذرات معلق در هواست را استفاده می کند. هنگامی که این ذرات به کمپرسور تزریق می شود، سرعت تبخیر به شدت بالا می باشد و از ضربه به تیغه جلوگیری می شود. ایده پایه اصلاح کردن ورودی توربین گازی بوسیله اضافه کردن بانکی از نازلهای اسپری سوئیرل فلاش می باشد. بوسیله تزریق آب ریز شده (پودر شده) در کمپرسور یک توربین گازی، کار پارازیتی کمپرسور کاهش می یابد. با ثابت نگه داشتن دمای ورودی توربین، توربین گازی سوخت بیشتری را تقاضا خواهد کرد. با توجه به کار پارازیتی کمتر و سوخت بیشتر، خروجی توربین به طور مهمی افزایش پیدا می کند. به علاوه هوای احتراق مرطوب می شود و دمایش کاهش می یابد، این مسئله سبب یک دمای شعله آدیاباتیک stoichiometric در محفظه احتراق می شود که منجر به ساختار NO_x حرارتی کمتر می گردد. هر دو تأثیر مهم می باشند. خروجی توان تا ۱۰ الی ۲۵ درصد افزایش و انتشار NO_x تا ۲۵ الی ۴۰ درصد کاهش می یابد.

همچنین خنک کنندگی و مرطوب کنندگی هوای کمپرس شده شر ایط سردسازی بهتر را برای محتویات گاز گرم ایجاد می کند. بنابراین عمر افزایش و هزینه تعمیر و نگهداری کاهش می یابد. سیستمهای سوئیرل فلاش دارای حق انحصاری می باشند و به طور گسترده ای آزمایش شده اند. این سیستم در توربین گازی ABB ۹D نیروگاه AMER در هلند نصب شده است.

تعداد توربینهای گازی معمولی یا سیکل ترکیبی به طور مداوم در حال افزایش است. در سالهای اخیر سیستمهای اسپری آب مختلف برای اصلاح کردن توربین گازی در جهت بهتر کردن عملکرد تحت شرایط گرم وارد بازار

شده اند. بازه تغییرات این سیستمها از سیستمهای سردسازی هوای ورودی تا سیستمهای اسپری شدید مرطوب کننده کمپرسور می باشد. این مقاله به یک سیستم تزریق اسپری شدید بی نظیر و ابتکاری مربوط می شود که به آن تکنولوژی سوئیرل فلاش گفته می شود. به طور نرمال سیستمهای تزریق اسپری شدید با تزریق اسپری شکل آب سرد کار می کند اما مشکل ریزسازی (پودرسازی) آب به اندازه یک قطره بسیار کوچک می باشد، آنقدر کوچک که از ساییدگی تیغه کمپرسور جلوگیری کند. تکنولوژی سوئیرل فلاش آب گرم فشار تنظیم شده را برای بدست آوردن قطرات بسیار ریز استفاده می کند که رفتار آن مانند ذرات معلق در هوا می باشد. بعنوان یک نتیجه سرعت تبخیر در کمپرسور به طور شدیدی بزرگ می باشد و از سائیدگی تیغه جلوگیری می شود. ایده پایه اصلاح کردن ورودی توربین گازی بوسیله اضافه کردن بانک نازلهای اسپری سوئیرل فلاش می باشد. به طور تقریبی آب ۲٪ برای جریان جرم منجر به یک افزایش مهم در خروجی توربین های گازی می شود. پس از آن هوای احتراق مرطوب شده با یک دمای پائین تر با توجه به دمای تخلیه پائین تر کمپرسور می خواهد وارد اتاق احتراق گردد، SAFT (دمای شعله آدیاباتیک stoichmetric) کاهش خواهد یافت که نتیجه تولید کمتر NO_x حرارتی می باشد. افز ایش بازده توربین و فروش توان اضافی، اتلاف آب و هزینه های تغییر و تبدیل را جبران می کند.

ایده پایه

ایده های اولیه و مقدماتی در جهت کاهش کاردریک کمپرس آدی آبات بوسیله تزریق و سپس تبخیر آب در یک کمپرسور است. کمپرس هوا در دمای پائین انرژی کمتری احتیاج دارد نسبت به دمای بالاتر، چون حجم کمتری دارد. این غیرعادی نیست که در کمپرسور آب وجود داشته باشد(در طول تمیز کردن، برای مثال در توربین یک هواپیما هنگامی که در ابرها و طوفان پرواز می کند) بنابراین تزریق آب در جهت عقربه های ساعت می تواند باعث

ایجاد مشکلاتی در رابطه با خوردگی و جدا شدن آب و غیره شود لذا قطرات آب بایستی کوچک باشند. مدل رایانه ای (fluent) پیش بینی می کند که قطرات باید در حدود ۲ میکرومتر ساخته شوند تا اگر بر سطح فلزی برخورد کردند از آسیب و جدا شدن ذرات آب مایع جلوگیری شود. تجربیات نشان می دهند که این با استفاده از روشی که قبلاً ذکر شده به نام تکنولوژی سوئیرل فلاش ممکن می شود آب که با فشار اسپری می شود گرم می شود سپس هنگام که از نازل چرخشی به بیرون فواره زده می شود حالت انفجار فروزشی رخ می دهد و نتیجه ای غافل گیرکننده از توده گرم و خوبی از قطرات ریز آب می باشد که هنگام وارد شدن به کمپرسور آمادگی بخار را دارند. بوسیله استفاده از نازل چرخشی و بوسیله آب گرم تحت فشار، ترکیب اسپری و فروزش نتیجه می دهد که قطرات به طور کلی ۱۰ برابر از لحاظ قطر کوچکتر و هزاران برابر از لحاظ حجم و وزن از قطرات دستگاه اسپری چرخشی عادی کوچکتر هستند.

در حالت سوئیرل فلاش یک نازل ۰,۴mm در حدود ۲ میلیارد قطره را در مدت ۱ ثانیه تولید می کند. میزان گرمایی که در کمپرسور هوا گسترانیده می شود بوسیله تبخیر بسیار بیشتر از مقداری است که بوسیله اسپری آب گرم اضافه می شود. به عنوان نتیجه دما افت می کند و دمای تخلیه کمپرسور کاهش می یابد این امر سبب کار غیر مفید کمتر کمپرسور و خروجی بیشتر و راندمان بهتر توربین می شود. در نهایت انتشار NO_x با توجه به کاهش دمای شعله کمتر می شود و قطعات گرم بهتر خنک می شوند و این خود باعث افزایش عمرشان می شود حال این جنبه ها مورد بحث قرار می گیرند.

نتایج بهینه سازی

یک سری مسائل هنگامی که حالت تزریق با اسپری اضافی انجام می شود باید در نظر گرفته شوند.

۳-۱ نسبت بخار در کمپرسور

۳-۲ رفتار کمپرسور

۳-۳ شرایط محیطی دما و رطوبت

۳-۴ عمر قطعات گرم

۳-۵ پایداری شعله و انتشار NO_x

۳-۶ جنبه های کاربردی مانند انعطاف پذیری

نسبت بخار در کمپرسور

مدت زمان حضور هوا در یک کمپرسور محوری به اندازه آن وابسته است حدوداً ۱۰msec تبخیر مقدار قابل توجهی آب درچندین میلی ثانیه با دادن مقدار گرمای حاضر در کمپرسور کار آسانی نیست اثر تبخیر آب در مدل D-۱ کمپرسور جی ای با فریم ۶ محاسبه شده است و تمامی جنبه های کمپرسور (اعم از سرعت مثلث ها،افزایش دما، ایجاد فشار، کارآیی کمپرسور، میزان آب، تغییر در نقطه کار و . . . سنجیده شده است.

این نشان می دهد که قطرات بسیار ریز و گرم ۲ میکرومتری در سه مرحله اول کمپرسور بخار می شوند مقدار هوای فشرده شده، کاهش کارآیی و تخلیه حرارت کمپرسور همگی با اندازه گیریها موافق هستند و این در طول آزمایش روی یک توربین کوچک چهار صد کیلو وات انجام شده است.

شکل صفحه بعد : افزایش دما در یک توربین جی ای فریم ۶ برای تزریق پاشش اضافی ٪۰ و ۱٪ و ۲٪

رفتار کمپرسور

توربین گاز برای یک جریان تک فاز هوا طراحی شده است. قطرات آب اضافی منجر به دوفازی شدن جریان و خارج شدن توربین از نقطه بهینه کارکرد خود می شود. همچنین اثرات تغییرات ناگهانی فشار و تأخیر جریان برای مطمئن شدن از چگونگی تغییرات باید امتحان و بررسی شود. به علاوه ارتعاشات پره ها و همچنین فاصله پره ها با بدنه وسایش پره ها باید بررسی و پیش بینی شوند. آزمایشاتی که با سوئیرل فلاش بر روی سیستم اسپری شدید انجام گرفته است. نشان می دهد که هیچ کدام از این مشکلات در این سیستم وجود ندارد و مقدار آب محدود به ۲٪ جرم می شود و ابعاد ذرات بین ۲ تا ۳ میکرون می باشد. تحلیل سی اف دی (دینامیک سیالات محاسباتی) نشان میدهدکه نقاط بحرانی کمپرسور در این روش رفتار مناسب و بی خطری را از خود نشان می دهند.

شرایط محیطی دما و رطوبت

تکنولوژی سوئیرل فلاش هنگامی که در شرایط گوناگون محیطی به کار گرفته می شود رفتار قابل قبولی را از خود ارائه می دهد. نوع کلاسیک چیلرهای هوای ورودی فقط قابلیت کار کردن در دمای بالا و رطوبت نسبتاً پائین را دارند. سیستم پاشش اضافی آب سرد به منظور اجتناب از تشکیل یخ در سرعت بالای هوا در شرایط محیطی با دمای بیش از $۱۰^{\circ c}$ کار می کند و می تواند در بازه بزرگتر از این نیز به کار رود. در دما و رطوبت بالا بخار کل فضای داخل کمپرسور را اشغال می کند. در دمای بالا و رطوبت کم سیستم سردسازی هوای ورودی را انجام می دهد در زمانی که آب باقی مانده در کمپرسور تبخیر می شود. در دمای کم و رطوبت بالا اسپری گرم همانند هوای ورودی بعنوان یک سیستم ضدیخ زدگی عمل می کند و می تواند مورد استفاده واقع شود. فقط هنگامی که رطوبت هوای ورودی نزدیک صفر است دمای هوای ورودی برای جلوگیری از تشکیل یخ باید بیشتر از $۵^{\circ c}$ باشد. با توجه به این

مطالب نتیجه می شود که سوئیرل فلاش در یک بازه بسیار بزرگتر هم می تواند فعالیت کند. به عنوان نتایج آن میتوان گفت که مقدار مگا وات ساعت اضافی تولیدی بسیار بزرگتر از سیستم های دیگر است.

عمر طولانی بخشها و اجزای داغ

هزینه نگهداری توربین گاز با پائین بردن درجه حرارت بخشهای داغ کاهش می یابد. دلیل آن اینست که هوای خنک ساز موجود در حدود ۵۰ تا ۶۰ درجه سردتر از هوای خنک ساز معمولی می باشد تا زمانی که تقریباً ۱٪ هوای بیشتر موجود باشد. بنابراین هوا بخار آب بیشتری را دربرمی گیرد در نتیجه مشخصه های انتقال دهنده حرارت افزایش یافته و اثر خنک سازی چشمگیرتر خواهد بود. این مطلب منجر می شود به یک عمر طولانی برای اجزا و بخشهای داغ. این اثر برای اولین ردیف از پره های روتور در یک ساختمان توربین محاسبه می شود. برنامه رمیلیف برای ارزیابی واقعی پره های توربین استفاده می شود. میانگین درجه حرارت مربوط به پره ها حدود ۷K افت می کند این مورد وقتی که سیستم در حال خزش به یک مکانیزم ناموفق است قابل ملاحظه است. این امر منجر به ازدیاد طول عمر از ۳۲۰۰۰ ساعت به ۴۴۰۰۰ ساعت می شود افزایشی در حدود ۰/۴۰٪ محاسبه مشابه برای مشخص کننده حرارت در محفظه احتراق ساختمان یک توربین ۹A ، ۷K کاهش حرارت را نمایان می کند که از نقطه نظر اکسیداسیون و خزش مطلوبست. به جاست که توربین در یک روش چرخه ای عمل کند پس نتایج لزوماً قابل اعمال نیستند. گرادیان دما بر روی دیوار پره ها یا لاینر تا اندازه ای زیاد می شود در طی چرخه مکرر توربین این امر ممکن است باعث ایجاد یک مکانیزم ناقص مرکب از خزش و عقب ماندگی سیکل شود. این حالات کاربردی باید در جزئیات و حالات بیشتری مورد آزمایش قرار گیرد.

پایداری شعله وانتشار NOX

مجوز انتشار گازهای NO_X توسط نهادهای دولتی تحت فشار قرار دارد. امروزه بسیاری از توربینهای گازی به وسیله تزریق بخار و آب مجهز شده اند. این امر به طور قابل ملاحظه ای انتشار NO_X را کاهش می دهد. اما تزریق بخار گران است (در حدود ۲۸۰۰ یورو برای هر تن) زیرا بخار باید از سوخت تولید شود که از طرف دیگر برای تولید توان باید در دسترس باشد. تزریق آب ارزان تراست اما در افزایش بازده توربین جواب می دهد البته نه همیشه، در تعمیرات گران قیمت زمانی که اسپری سرد باعث شکاف و ترک خوردن اجزای داغ می شود. با تعدیل کردن تزریق آب و تغییر جهت دادن آب به سمت ورودی کمپرسور کاهش NO_X مشابهی را می توانیم بدست آوریم البته با هزینه ای کمتر (۱۶۸۰ یورو برای هر تن) در هر دو شرایط آب تلف می شود اما در مورد دوم آب تزریق شده توان خروجی را افزایش داده و در زمان مشابه تولید NO_X را کاهش می دهد. زمانی که در آن می تواند فروخته شود هزینه های کاهش NO_X به طور قابل ملاحظه ای می تواند کاهش یابد این امر از آزمایشهایی به دست می آید که نشان می دهد پایداری شعله تحت تأثیر هوای مرطوب افزوده شده به محترق کننده نمی باشد. حتی برای یک محترق کننده خشک NO_X . کاهش NO_X برای یک کوره با پخش کنندگی معمولی می تواند بیشتر از ۴۰٪ باشد برای یک کوره با NO_X پائین معمولاً در حدود ۲۵٪ است.

جنبه های کاربردی مانند انعطاف پذیری

انعطاف پذیری یکی از امتیازات مهم برای تولید کننده های توان شده است افزوده شدن مبادلات انرژی و تغییرپذیری قیمت وضع شده در یک بازار آزاد برق نیاز به انعطاف پذیر بودن نیروگاهها را افزایش داده است. تزریق اسپری شدید یک درجه آزادی فوق العاده را در عملکرد امکانات ایجاد می کند. افزایش توان در حدود ۱۰٪ تقریباً

فوری است. این مطالب روشهای جدیدی را در خرید و فروش توان مصرفی از دپارتمان های فروش و بازرگانی به اپراتور ارائه می کند.

مثالی برای یک توربین گاز

به عنوان یک مثال تأثیر تزریق آب در یک توربین گاز ABM ۹D محاسبه شده است. در نمونه ۱ نتایج خلاصه شده اند برای عملکرد خشک و برای تزریق ۱٪ و ۲٪ آب داغ ۲۵۰ درجه سانتیگراد به صورت مستقیم در مقابل کمپرسور شرایط محیط بر طبق ISO می باشد(۶۰٪ و ۱۰۱/۳۲۵ kpa و $^{\circ c}$۱۵)

بازده	خروجی	تأمین سوخت	دمای دشارژ کمپرسور	ورودی آب	ورودی هوا
درصد	مگا وات	کیلوگرم بر ثانیه	درجه سانتیگراد	کیلوگرم بر ثانیه	کیلوگرم بر ثانیه
۲۵.۸	۲۹.۵	۳.۰	۲۹۷	-	۱۴۸.۷
۲۶.۵	۳۱.۹	۳.۲	۲۷۲	۱.۵	۱۴۸.۶
۲۶.۹	۳۳.۶	۳.۳	۲۴۵	۲.۹	۱۴۶.۹

جدول ۱: مقادیر یک توربین گاز ABB۹D با تکنولوژی سوئیرل فلاش

به ازای ۲٪ تزریق، دمای تخلیه کمپرسور به ۵۲K کاهش می یابد به طوری که جریان ماده از میان کمپرسور به آرامی از ۱۴۸/۷kg/s به ۱۴۹/۸ kg/s افزایش می یابد. هنگامی که راندمان پلی تروپیک کمپرسور غیرمؤثر می باشد توان خروجی با ۱۴٪ افزایش می یابد.

در عمل به سبب راندمان پائین تر متراکم کننده خروجی در حدود ۱۰٪ افزایش می یابد. راندمان کل توربین گاز از هر نقطه ۱/۱٪ افزایش می یابد.

این توربین گازی ABB بخشی از تجهیزات ویژه نیروگاه سوخت زغال Amer ۸(۶۴۵ mw) می باشد و اولین توربین مجهز شده به تکنولوژی سوئیرل فلاش است هدف کم کردن انتشار NO_X از ۲۴۷ g/Gj به ۱۵۰ g/Gj است. در این مورد ویژه آب گرم از پری هیتر فشار بالا با نظمی آنچنان که در شکل ۴ نشان داده شده است عبور

می کند. زمانیکه آب در چرخه توربین بخار بوسیله پری هیتر گرم تر می شود خروجی توربین بخار کاهش داده خواهد شد.

به عبارت دیگر محتوای انرژی فلوی گاز افزایش پیدا کرده است این نتایج از دمای پائین تر تخلیه کمپرسور بخار توربین گازی و تزریق سوخت اضافی متوالی دمای داخل توربین را ثابت نگه می دارد مقدار بزرگتری از فلوی گاز فقط خروجی منبسط کننده (Gj) را افزایش نخواهد داد. بعلاوه heat-cp ویژه ایزو باریک و دمای فلوی گاز افزایش پیدا می کند بنابراین انرژی اضافی برای تولید بخار اضافی جهت سیستم بخار تهیه می شود.

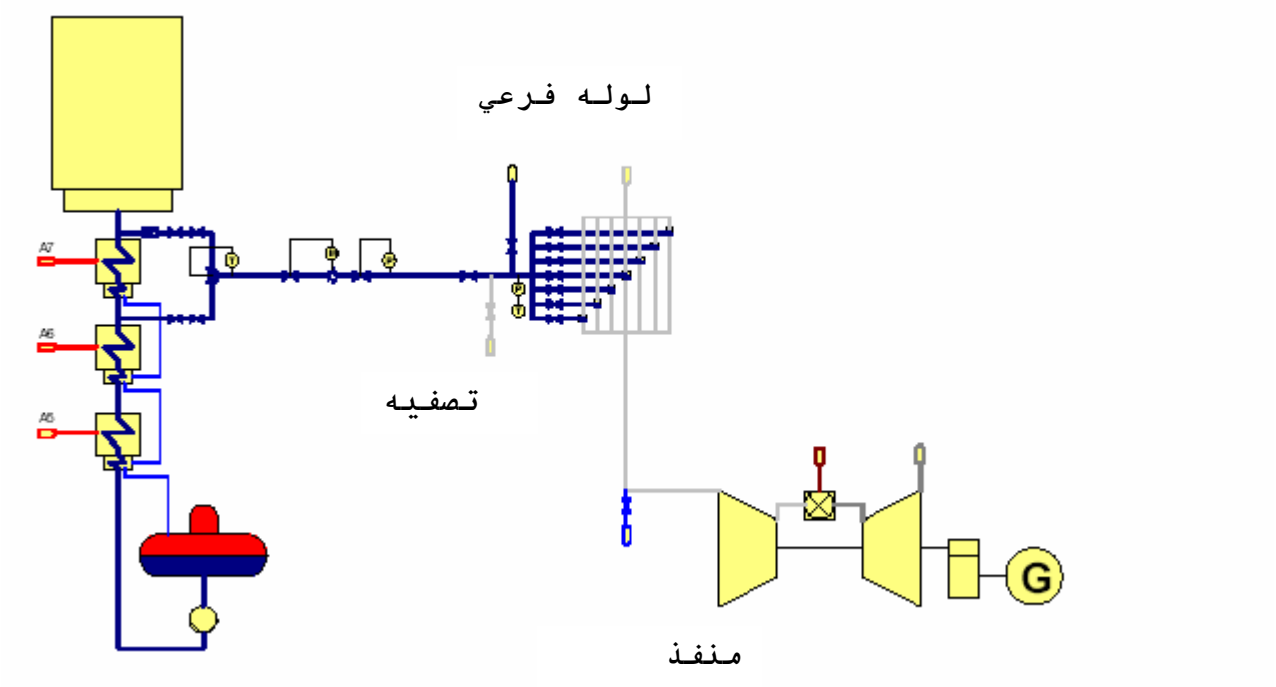
این انرژی اضافی برای مکش آب گرم از پری هیتر و کاهش متوالی در خروجی توان توربین بخار جبران می شود. این وضعیت منجر به کاهش اندک بازده می شود اما خروجی به طور قابل توجهی افزایش می یابد و تقاضای مصرف کننده برای کاهش NO_X به وقوع می پیوندد.

	هوا	آب	گاز خروجی کیلوگرم بر ثانیه	گاز خروجی مگاوات	خروجی مگاوات	بازده درصد	دمای شعله آدی آبات
GT۹DCC ٪۰ آب	۱٤۸,۷	...	۱٥۱,۷	۸۳,۰	۲۹,٥	۳۹,٥٤	۲۱۹۲
GT۹DCC ٪۱ آب	۱٤۸,٦	۱,٥	۱٥۲,۸	۸٤,٥	۳۲,۰	۳۹,٥٤	۲۱٥۲
GT۹DCC ۲ ٪ آب	۱٤٦,۹	۲,۹	۱٥۲,۲	۸٥,٤	۳۳,٥	۳۹,٥۳	۲۱۰۷

جدول ۲ : اثر تزریق آب و خنک سازی تبخیری در کمپرسور ABB GT ۹D در یک سیکل ترکیبی با بخار حاصل از بویلری که زغال سنگ را به وسیله سایش می سوزاند.

افزایش خروجی و SAFT کمتر (نتیجه حاصل از NO_X کمتر) به اندازه کافی مهم است تا در مورد این نوع در نظر گرفته شود. هزینه های این نوع کمتر از حالت توربین به تنهایی به همراه ذخیره آب گرم و تأسیسات جلوگیری

از تبدیل به حالت معدنی است. انتخاب چگونگی گنجاندن سیستم سوئیرل فلاش در یک نیروگاه در شکل ۴ آورده شده است.



بهینه کردن نیروگاه قدرت herdersburg

توربین گازی ۱۵۰mw نیروگاه قدرت Electrable در herdersburg با استفاده از تکنولوژی فروزش دورانی (swirl flash) تعدبل و دستخوش تغییراتی شده است. جای پمپ و لوله ها در کنار هم نصب شده است در این سیستم از بخار کم فشار استفاده شده است آب مقطر پس از اینکه فشارش تا ۱۳۰bar افزایش یافت حرارت می بیند و دمایش به ^{c}۱۸۰ میرسد و سپس آب به داخل تعدادی از لوله های نصب شده هدایت می شود که این مقدار ۲٪ کل آب می باشد.

اتصالات منعطف سیستم تغذیه لوله های نصب شده در سیستم هوای گرم ورودی در عکس آمده است کار نصب در سال ۲۰۰۳ تمام و سیستم آماده شده است.

سمت چپ : عکس پمپ herdersburg در محل نصب

سمت راست: سیستم تغذیه لوله های نصب شده در سیستم هوای گرم ورودی

بهینه کردن GTII نرسک اسکاگ پارن

توربین ۲۵MW GTII نرسک اسکاگ پارنکو در رنکام با استفاده از تکنولوژی سوئیرل فلاش اصلاح گردید. یک پمپ اسکید با تبادل کننده گرما ساخته شده و به سیستم بخار LP برای گرم کردن آب دمین متصل گردید. به آب دمین فشار و گرما داده شد تا ۱۳۰bar و $^{\circ c}$۱۸۰ پیش از تزریق به درون لوله هوای ورودی توربین. در لوله در کل ۷ مجرا نصب شده است، با قابلیت تزریق ۲ درصد آب .

بهینه کردن۸ AMER

توربین گازی ABB۹D ایستگاه قدرت Amer در Geertriodenberg با استفاده از تکنولوژی اسپری کردن به روش فروزش دورانی (سوئیرل فلاش) تعدیل و دچار تغییرات شده است از اثرات این اصلاحات این می باشد که انتشار و تولید NO_X به مقدار ٪۴۴ کاهش یافته و قدرت خروجی از سو یک میلی وات تا سی و هشت مگا وات رسیده است. عکسی از کانال هوای ورودی در زیر نشان داده شده است در این کانال هفت لوله نصب شده است که توانایی تزریق ۲٪ آب کاملاً معدنی شده راداردراین آب از یک پیش گرم کن فشار بالا که توسط زغال خرد شده گرم می شود و در مجاور سیستم قرار دارد، تأمین می شود.

مروری بر تکنولوژی خنک سازی در بخش ورودی

- اقتصادی و مالی
- اقتصادی

- مالی
- سرمایه گذاری بلندمدت در مقابل سرمایه گذاری کوتاه مدت
- راه حل B/O/O شرکت polarworks
- منبع خارجی
- گسترش پاشندگی
- خنک سازی با استفاده از تبخیر
- راه کار شرکت polar works
- تکنولوژی polar در مقابل فاگینگ
- تبرید
- ذخیره انرژی گرمایی

مروری اجمالی بر تکنولوژی خنک سازی ورودی

Polar works دارای اولین سایت در اینترنت می باشد که منحصراً به هنر خنک سازی هوای ورودی توربین گاز اختصاص یافته است. یک قسمت کلیدی از استراتژی ما که به وسیله آن تکنولوژی متحول کننده خود را به بازار معرفی و عرضه می کنیم ، تولید اجناس و مواد مرجع عالی برای انواع مختلف سیستمهای خنک سازی ورودی و تأمین بودجه پروژه ها می باشد . درحالی که ما اطلاعاتی در مورد تکنولوژیمان را بر روی این سایت در طول سال ۲۰۰۰ اضافه خواهیم کرد، سیستم polarworks رانیزبه طور رسمی در power gen show و روی این وب سایت در نوامبر معرفی خواهیم کرد. روشهای کاربردی متنوعی برای عملیات خنک سازی توربین گاز وجود دارد.

موفقیت های ایجاد شده در تمام این روش ها ، متفاوت ولی ضروری بوده است .polar works بر این باور شکل گرفت که روش بهتری برای رسیدن به نتایج بهره وری مطلوب وجود دارد . سپس سعی شد یک کار مشکل انجام شود به این ترتیب که با اعمال یک روش خنک سازی موجود در محیط نیروگاه ، polar works را با جمع آوری دانسته هایمان درباره صنعت انرژی و مشخص کردن نیازهایمان درباره تکنولوژی جدیدمان ، شروع کردیم. به منظور فهمیدن تکنولوژی polar works آشنایی با چند اصل اساسی تولید انرژی توسط توربین گاز برای ما مفید است و به ما کمک می کند.

۱- توربین های گاز برای مکش و جذب هر چه بیشتر هوا طراحی شده اند بنابراین آنها می توانند هر مقدار گازرا که ممکن است بسوزانند.

۲- هوای بیشتر اجازه ورود گاز بیشتری را می دهد و این باعث تولید توان بیشتری می شود.

۳- بهترین راه برای افزایش چگالی جریان این است که هوا را در مقابل انتهای کمپرسور تا آنجا که امکان دارد متراکم کنیم .

۴- چگالی هوا به وسیله مواردروبرو افزایش می یابد : ۱)درجه حرارت پائین ۲) درجه رطوبت پائین ۳) فشار بارومتری افزایش یافته .

بنابراین تولید هوایی که تا حد امکان سرد و خشک باشد هدف polar works می باشد.

امور اقتصادی و مالی (تأمین بودجه)

اگر همه پروژه های خنک سازی ورودی توربین گاز توانایی دسترسی به تأمین بار مالی را برای اجرا در نیروگاه واقعی داشتند در این صورت هر توربین گازی چندفرم برای خنک ساختن ورودی می داشت . برای دانستن اینکه ما چرا فکر می کنیم این مطلب درست است به موارد زیر توجه کنید :

امور اقتصادی

پروژه های خنک سازی ورودی اغلب برای حالات و موارد مختلف اجرا نمی شود ، حتی اگر ضرورت پیدا کنند .

تأمین بودجه

چندین دلیل وجود دارد که چرا پروژه های خنک سازی ورودی اغلب تأئیدیه مالی دریافت نمی کنند.

سرمایه کوتاه مدت سرمایه بلند مدت

تکنولوژی خنک سازی هوای ورودی polar works شبیه یک افزایش ظرفیت است و باید همانگونه تأمین بودجه شود.

راه حل b/o/o در polar works

با به عهده گرفتن سیستمهای خنک ساز هوای ورودی به عنوان یک پروژه سرمایش سه مرحله ای ، polar works می تواند یک ساختار مالی بلند مدت که تقریباً نزدیک به ساختار مالی یک نیروگاه جدید می باشد را کسب کند که با هزینه سرمایه ای نسبتاً کمتری ساخته می شود.

منابع خارجی

وقتی polar works یک پروژه را که متعلق به خودش است تأمین بودجه می کند ما می توانیم به صورت قرضی هزینه آن را کاهش دهیم . این مورد از مزایای منابع خارجی از طریق مدل B/O/O است.

Spark spread

فرصت ملاحظه کردن افزایش گسترش پاشش ، هیجان انگیزترین بخش از خنک سازی ورودی است.

اقتصادی و مالی

اقتصادی

اکثر پروژه های خنک سازی ورودی به سه دلیل به عنوان مقدمه ای برای پروژه های موجود ، در نظر گرفته می شوند:

۱- بیشتر سازندگان اصلی تجهیزات توربین گازی ، در تجارت ساخت سیستمهای خنک سازی ورو دی حضور ندارند بنابراین انگیزه ای هم برای بالا بردن تکنولوژی آن ندارند.

۲- بیشتر توسعه دهندگان و بانک داران تجربه ای در مورد این تکنولوژی ندارند و نسبت به ریسک تکنولوژی های جدید بیشتر محافظه کار هستند و تصمیم گیری را به آینده موکول می کنند و پس از آغاز خود را در یک وضعیت «بایست و تماشا کن » قرار می دهند.

۳- بیشتر قراردادهای خرید توان ، انگیزه مالی را برای تولید توان اضافی در طول دوره های کمبود ذخیره در تابستان (کاهش حاشیه اطمینان ذخیره انرژی در تابستان) شامل نمی شوند.

بنابراین هنگامی که نیروگاه شروع به کار می کند و راه می افتد اکثر اپراتورها خیلی زود از خروجی توربین گاز خود در تابستان نا امید می شوند. تازه آن موقع به طور جدی به دنبال تکنولوژی خنک سازی ورودی می گردند. متأسفانه بعضی اوقات به خاطر چند دلیل فنی ، برای اضافه کردن خنک کننده بسیار دیر شده است.

دلایل فنی:

۱- فضای ناکافی برای وسایل خنک سازی .

۲- عدم وجود فضا برای حلقه های خنک کننده در قسمت فیلتر هوای ورودی .

۳- منتقل کننده های سرما کوچک هستند و جوابگو نمی باشند. برجهای خنک کننده و چگالنده کوچک هستند و جوابگو نمی باشند(برای نیروگاههای سیکل ترکیبی)

البته اغلب، دلایل مالی هم برای عدم اضافه کردن سیستم خنک کننده ورودی وجود دارد:

نامعلوم بودن کارآیی و بازده پیش بینی شده

زمان بازپرداخت طولانی

محدودیتهای قرارداد در موافقت نامه های مالی

موافقت نامه خرید قدرت (PPA) اجازه تقویت های گسترده را نمی دهد.

در حالی که شرکت polar works نمی تواند تمام مشکلات بالا را حل کند شما کنجکاو خواهید شد که چه مقدار را می تواند بطور مؤثر انجام دهد.

در کل می بینیم که یک سیستم خنک کننده ورودی مناسب، می تواند اثر مالی مثبتی همانند ساخت یک نیروگاه جهت ساعت پیک مصرف فقط برای بار تابستانی داشته باشد. قابلیتهای مدیریتی در مقایسه با نیروگاه پیک بهتر می باشد. سیستم خنک سازی ورودی می تواند با ریسکی بسیار کمتر در قابلیت تنظیم شدن و ریسک زمانی کمتر از اضافه کردن یک نیروگاه جدید که فقط قدرت خروجی تابستان را جبران می کند ، باشد . به علاوه اینکه هزینه افزودن سیستم خنک کننده ورودی به یک سایت موجود بسیار کمتر از اضافه کردن یک نیروگاه جدید برای جبران کمبود توان خروجی در تابستان است. دیدگاه ما این است که چون هزینه خنک ساز ورودی بسیار کمتر از ساخت یک نیروگاه جدید است بنابراین این پروژه خنک سازی باید به عهده گرفته شود .

متأسفانه بسیاری از پروژه ها دوره بررسی قابلیت اجرا را به علت فشارهایی که در مرحله مالی پروژه پدید می آیند پشت سر نمی گذارند، شرح آن به این صورت است :

عوامل اقتصادی و سرمایه گذاری

سرمایه گذاری مالی

توضیح پائین در مورد سرمایه گذاری در نیروگاه و هزینه کردن سرمایه ممکن است برای بیشتر سرمایه گذاران بسیار ساده تر از آن چه که هست بیان شده باشد اما بسیاری از رازها را برای راحتی ما شرح خواهد داد. بیشتر مهندسان و مدیران تأسیسات از بازپرداخت بعنوان یک ابزار آزمایش کننده و نشان دهنده برای تعیین کردن این که « آیا نسبت به یک پروژه بهبودسازی با اهمیت حیاتی باید متعهد شوند یا نه » استفاده می کنند. قاعده کلی قدیمی را برای پروژه های بهبودسازی با اهمیت حیاتی یک بازپرداخت ۳ ساله استفاده می کنند. افراد سرمایه گذار دارای شخصیت حقوقی ، معمولاً یک دوره باز پرداخت قابل قبول را تا انتهای مرحله اجرایی نیروگاه ابلاغ می نماید ، دوران بازپرداخت به طور قابل توجهی در ده سال اخیر به واسطه توافق های مالی که پایه این پروژه را محکم می کند به مدت یک سال یا کمتر کاهش یافته است.

معنی دقیق تر آزمایش پروژه ، «مقدار خالص موجودی» یا NPV می باشد. توضیح ما را در مورد تفاوت این دو ابزارمالی در بخش بعدی ببینید.

بیشتر نیروگاههای غیر وابسته جدید ، با ترکیبی از وام و سهام سرمایه گذاری می شوند. بخش وام بوسیله بانکهای بزرگ اقتصادی و بعضی وقتها از طریق انتشار اوراق قرضه تهیه می شود. توسعه دهنده و دیگر حمایت کنندگان مالی پروژه ، بخش سهام را فراهم می کنند که مانند پیش پرداخت رهن است. بخشی از وام مانند خود رهن است. نیاز گیرندگان وام ، دیدن یک تزریق مهم سهام سرمایه به پروژه است به گونه ای که آنها بتوانند مطمئن گردند که توسعه دهنده جدی است و اگر توسعه دهنده کوتاهی کرد، مقدار وام باقیمانده می تواند بوسیله جریانهای دریافتی برنامه ریزی شده پروژه ، بازپرداخت شود. هزینه هر کدام از اجزای سرمایه متفاوت است. ابزارهای وامی می توانند برای پروژه های سخت با وام بسیار کمتر از ۱۰ درصد بهره ، مطمئن باشند. بخش سهام باید به طور کلی حدود ۳۰

درصد سود بدهد. برای ساختار پروژه با ۶۵ درصد وام و ۳۵ درصد سهام، ارزش هزینه متوسط سرمایه بدین صورت می باشد:

(۶۵٪)*(۱۰٪)+(۳۵٪)*(۳۰٪)=۱۷٪

این ساده سازی بزرگ پروسه می باشد ، اما نشان می دهد که هر چه بدهی با هزینه کم بیشتر باشد ، هزینه کلی سرمایه گذاری کاهش می یابد .

توافق برای بدست آوردن سرمایه وامی معمولاً شامل وعده های قطعی ای می گردد که بعنوان قراردادهای محدود کننده شناخته می شود. این قرارداد بندهایی دارد که نگه داشتن جریان دریافتی به میزان چند برابر (معمولاً حداقل ۲ است) بالاتر از مقدارلازم برای بازپرداخت بدهی می باشد . این بند به نام نسبت پوشش وام خوانده می شود. بند دیگر این است که نیروگاه نمی تواند ماشین آلات بزرگ بگیرد و تغییر قرارداد دهد، یا وام جدیدی در رابطه با این تغییرات دریافت کند، مسئله ای که می تواند پوشش وام را بطریقی به خطر بیاندازداین است که : پوششهای وام مانند شخص ، مصون از انتقاد scared cows در توافق های مالی می باشد. درماندگی در پرداخت پوشش وام، حتی اگر وام به موقع و با موفقیت بازپرداخت شود می تواند توسعه دهنده را به مشکل بیاندازد.

فرض کنید نیروگاهی ارزش هزینه سرمایه متوسط ۱۷ درصد دارد، اگر چه این مسئله از نظر تکنیکی کاملاً صحیح نیست، بعضی اوقات تخمین زده می شود که این نیروگاه یک افق مالی ۱/۰,۱۷ یا به طور تقریبی ۶ ساله دارد. بنابراین ساختار مالی پایه نیروگاه یک بازپرداخت برابر با ۶ سال دارد. اگر یک پروژه سردسازی ورودی مورد مطالعه واقع شود و یک بازپرداخت سه ساله داشته باشد، به نظر می رسد که بهتر از ساختار پایه مالی ۶ ساله نیروگاه است ، پس باید تصویب گردد ولی اغلب اوقات این گونه نمی شود و تصویب نمی گردد. این باید مورد موافقت واقع شود ولی در اغلب موارد مورد موافقت واقع نمی شود . اینجا یک چرا وجود دارد؟

سرمایه گذاری بلند مدت در مقابل سرمایه گذاری کوتاه مدت

به منظور کنار گذاردن پول برای یک پروژه بهبودسازی که دارای اهمیت حیاتی است، نیروگاه به گرفتن پولی خارج از بودجه سال جاری نیاز خواهد داشت ، یا باید سرمایه اضافی را وام بگیرد. به خاطر بیاورید که تهیه سرمایه اضافی معمولاً با قراردادهای دست و پاگیر به پایان می رسد. بنابراین پول باید خارج از بودجه سال جاری گرفته شود، همچنین نیاز می باشد در طول بودجه سال جاری ، بازپرداخت گردد به طوری که در پایان دوره گزارش مالی ، هیچ پولی در پروژه تلف نشده باشد . این یک منشاء بازپرداخت ۹ تا ۱۲ ماهه است همانطور که اغلب به خاطر پروژه های بهبودسازی حیاتی ، نیاز می باشد.

در حقیقت سازندگان مصمم ، به صورت شرکت درآمده از متعهد شدن به یک سرمایه پشتوانه پروژه بهبودسازی حتی در یک بازپرداخت ۹ ماهه بیزار هستند ، ترس از اینکه ریسکها یا نابسامانیهای منتجه بوسیله یک بازپرداخت سریع می تواند منجر به از دست دادن نسبت پوشش وام در طول یک دوره گزارش مالی گردد ، بنابراین اغلب ارزش ریسک را ندارد.

پیشنهاد دیگر این است که سرمایه اضافی با سهام دار شدن توسعه دهنده صورت گیرد، اگرچه توسعه دهنده یا مدیر معمولاً فقط قرارداد مدیریت را در نیروگاه بر عهده دارد ، نیروگاه خودش در بسیاری از ساختارهای مالی بعنوان یک نهاد تک هدف SPE شناخته می شود. روش تأمین مالی که به آن تأمین مالی بدون راه چاره گفته می شود روشی است که در آن دارنده بدهی هیچ راه چاره ای در صورت عدم پرداخت در مقابل دارندگان سهام ندارد به جزء اینکه سهم بیشتری از انجام پروژه را برعهده گیرد. ساختارکل پیچیده است و به طور کلی راههای کمی برای راضی کردن دارندگان سهام در جهت سرمایه گذاری به خاطر افزایش سرمایه وجود دارد. البته نیروگاه و شرکت توسعه دهنده که می توانند بوسیله ترازنامه خودشان پروژه را توسعه دهند و می توانند به گونه ای که مناسب می بینند

پولشان را جا به جا کنند اگر چه معمولاً آنها این کار را انجام نمی دهند. بنابراین هنگامی که نیروگاه می تواند بر اساس ساختارهای سرمایه گذاری با افق طولانی مدت ساخته شود، بهبود سرمایه ، افق بسیار کوتاه را قبول می کند.

درگیری ما این است که پروژه های بزرگ سردسازی ورودی، در پروژه های ویژه که شامل سردسازی عمیق مانند سیستم خنک سازی هوای ورودی polar works می شوند، توان تابستانی را فراهم می کند که باید در کمترین حد از لحاظ مالی بعنوان اضافه ظرفیتها بجای بهبودسازی باشند(پیشنهاد معمولاً ساختن نیروگاه دیگری است) به این معنی که سیستمهای سردسازی ورودی دما پائین باید با افق بلندتری به جای بازپرداخت یک ساله پوشش داده شوند. از سوی دیگر سیستمهای فاگینگ به طور مقایسه ای در حالی که ظرفیت های افزایش توان محدود شده دارند، دوره های بازپرداخت کوتاهتری دارند. سیستمهای فاگینگ ، پروژه های بهبودسازی حیاتی خوبی را بدست می آورند.

اینجا جایی است که ما میان مقدار درآمد خالص و بازپرداخت فرق می گذاریم. پروژه های افزایش توان مهم، مانند سیستم سردسازی هوای ورودی polar works به طور مهمی NPV بیشتری از پروژه های فاگینگ خواهند داشت، حتی اگر فاگرکننده ها بازپرداخت کوتاهتری داشته باشند، دلیل آن این است که : درآمد سالانه ناشی از بکارگیری polar works همیشه به طور وسیعی بزرگتر از یک پروژه فاگینگ می باشد. ما اخیراً تجزیه و تحلیل اقتصادی در مورد افزودن سیستم polar works، سیستم سردسازی استاندارد و یک سیستم فاگینگ در یک سیکل پیوسته تجاری انجام دادیم. با یک نرخ سود ۱۷ درصد، سیستم polar works یک NPV ۱۴ برابر بزرگتر از پروژه فاگینگ و بیش از ۲۱ برابر بزرگتر از پروژه سردسازی استاندارد دارد. اگر ما نرخ سود ۳۰ درصد را برای پروژه فاگینگ استفاده کنیم تا یک برنامه خود تأمین را بعنوان یک بهبودسازی حیاتی متداول در هزینه داخلی سرمایه نشان دهیم، polar works یک مزیت نزدیک به ۲۱ برابر سیستم فاگینگ در محاسبه NPV دارد. دلیل این تفاوت های گیج کننده در تعداد NPV فقط این نیست که سیستمpolar works بیشتر خنک می کند بلکه

این مهم است که دوران عملکرد سیستم در طول سال افزایش می یابد که در نتیجه یک ضریب ظرفیت بسیار بزرگتر برای سرمایه گذاری ایجاد می شود. این چیزی است که ما به آن « سطح زیر منحنی » می گوئیم. این نوعی از اجرا است که محاسبات NPV را بهبود می بخشد .

این قدرت محاسبات NPV است و به وضوح برتری اقتصادی پیشنهادات polar works مبنی بر خنک کردن هوای ورودی را نشان می دهد.

توجه داشته باشید که سیستم خنک سازی هوای ورودی در یک حالت مشابه می تواند به عنوان پشتوانه ای برای ظرفیت اضافی باشد.در اینجا مدلی را برای امکان سازی این امر ارائه می دهیم :

راه حل B/O/O از شرکت polar works

در فهم و درک عوامل اقتصادی نیروگاههای قدرت ما بر این باوریم که می خواهیم به پروژه های تولید سرمایش عظیم، با تأمین یک منبع اعتبار و پشتوانه مالی منحصر به فرد جامه عمل بپوشانیم . ما این پروژه ها را به عنوان یک منبع اعتباری معادل برای افزایش ظرفیت فصلی در نظر می گیریم . بنابراین آنها باید از طریق راههای مشابه تأمین اعتبار شوند و توسعه یابند.

Polar works از جامعه فعالان در افزایش قدرت سرچشمه می گیرد نه از صنعت خنک سازی .

Polar works می تواند یک پروژه سرمایش ورودی جدید را تقریباً همانند نیروگاههای تولید اشتراکی جدید که در سال ۱۹۸۰ توسعه پیدا کردند انجام دهد و راه اندازی نماید.

اکنون به جای فروختن بخار و الکتریسیته به عنوان مواد اصلی واولیه نیروگاهها، ما سرمایش و خدمات سردسازی را خواهیم فروخت.

برای انجام این کار یک قرارداد مانند آنچه نیروگاه با شرکتهای تأمین آب مصرفی خود دارد بین polar works و نیروگاه بسته می شود.

با پذیرفتن این پروژه به عنوان یک شخص ثالث در پروژه سرمایشی، می توانیم ساختار اعتباری بلند مدتی را تأمین کنیم که به ساختار اعتباری یک نیروگاه جدید ، خیلی نزدیک باشد .

این هزینه متوسط مختصر شده(wacc)تبدیل به پشتوانه ای می شود که هزینه های اساسی نیروگاه را در یک بازه چندساله سرشکن می کند.

بازه بلندمدت اعتباری، بازگشت سرمایه (ROF) ، ,NPV پروژه را افزایش می دهد که این منجر به هزینه کمتر در عملیات خنک سازی نیروگاه میزبان می گردد.

ما این ساختار را B/O/O یا ساختن / پذیرفتن/عمل کردن می نامیم.

البته باید اعتراف کرد که این نام توسط Polar works ساخته نشده است. و b/o/o سالهاست که در مباحث گسترش زیرساختها و پروژه های قدرت در سراسر جهان مورد استفاده قرار می گیرد و از طرف بانکهای تجاری و منابع تأمین سرمایه مورد قبول واقع شده است . همچنین باید گفت که این موضوع همانند اجاره نامه یا ترازنامه اعتباری نمی باشد، در این ساختار کاری ، ما با بستن قرارداد سرمایش را می فروشیم.

ما یک تواق نامه خرید با سایت یا نیروگاه میزبان تنظیم می کنیم ترجیحاً این قرارداد به شکلی است که منعکس کننده توافقات انجام شده بین نیروگاه و ما می باشد.

از این رو ما وقتی سود می بریم که سایت میزبان در حال سود بردن است بنابراین هزینه خنک سازی درست مثل سوخت می تواند به عنوان یک هزینه متغیر تلقی شود . متقابلاً می توانیم ظرفیتهای سرمایشی قابل انتقال را نیز بفروشیم که هزینه آن به شکل ثابتی می باشد بر خلاف نوع قبل که دارای نوسان قیمت است. اگر سایت میزبان

توانایی فروش قدرت مازاد را بر اساس یک مبنای اقتصادی داشته باشد و چیزی بیشتر از مقدار قید شده در توافق نامه رابفروشد آنگاه polar works بر اساس مدل اعتباری B/O/O ، مسیر جدیدی را برای سود بیشتر در بازار پرنوسان تابستانی دراختیارنیروگاه قرار خواهد داد. با عمل کردن و حفظ سیستم کاری ارائه شده توسط polar works سایتهای تولید ، دیگر نیازی به جذب زیرساخت و نیروهای جدید ندارند.

آنچه که لازم است همه مالکان توربین های گازی انجام دهند این است که درآمد حاصل از فروش انرژی الکتریکی را بالا ببرند.

منابع خارجی

برخی کمپانیها نسبت به منبع خارجی در هر سرویسی در نیروگاهشان بی میل هستند، دیگر کمپانیها از منبع خارجی به وفور استفاده می نمایند. برخی خدمات که به طور معمول شامل منبع خارجی می شود شامل معامله آب، پرسنل O&M و تعمیرات می شود. برخی کمپانیها ، به منبع خارجی بعنوان یک مسأله توهین آمیز نگاه می کنند. برای آنها این به منزله اعتراف کردن به این مسئله است که کمپانیهای دیگر می توانند بهتر از آنها این خدمات را انجام دهند. این دیدگاه می تواند نابه جا به کار برده شود و باعث شکست در بدست آوردن فرصتهای توسعه گردد. در polar works کار ما این است که به شما نشان دهیم، سود در یک پروژه سردسازی ورودی با ساختار B/O/O می تواند بهتر از انجام آن توسط خودتان باشد چرا؟

اگر یک کمپانی سرمایه خودش را برای سرمایه گذاری در پروژه کنار بگذارد، سپس به طور ذاتی مقدار بسیاری از سرمایه را (بر اساس قاعده انصاف، اجازه بدهید سهم ۳۰ درصد فرض کنیم) برای پروژه به کار خواهد برد. این بسیار بعید است که کمپانی همه سرمایه را برای ساختن نیروگاه به کار برده باشد، بنابراین نباید همه سرمایه را هم برای افزایش ظرفیت کنار بگذارد. هنگامی که polar works در پروژه ای سرمایه گذاری می کند آنچنان که اگر

پروژه توان خودش باشد، ما می توانیم در ساختار وامی با هزینه سرمایه کمتر شروع به کار کنیم. این افزایش افق سرمایه گذاری پروژه به ما اجازه می دهد که سرمایه را در یک دوره طولانی تر هزینه کنیم. یعنی هزینه پائین تر سرویس، که اجازه می دهد سود بیشتری به طور افزایشی در زمانهای بحرانی هر سال یک پروژه ، به مالک برگردد و در زمانی که قیمت برق تابستان بی ثبات و به طور فوق العاده سودآور است، به گونه ای که در تمام مناطق کشور این مسئله دیده می شود. همچنین به این کمپانیها که ممکن است ساختار b/o/o مربوط به polar works را بعنوان یک مزاحمت برای استقلال مالی و عملکردشان تلقی کنند نمی گوئیم که ما خود را مالک می دانیم و پروژه را بهتر از آن چیزی که آنها می توانند انجام می دهیم، بلکه می گوئیم ما می توانیم بیشترین سود حاصله از پروژه را در طول این زمانهای بحرانی کمبود توان تابستانی بدست آوریم . ما این کار را بوسیله در نظر گرفتن یک چشم انداز بلندتر برای سرمایه گذاری پروژه انجام می دهیم، و بعنوان یک شریک بلند مدت تا به نتیجه مطلوب رسیدن این تأسیسات کار میکنیم. بعلاوه ما می توانیم دوره فراگیری و مالکیت این تکنولوژی را به وسیله سرمایه گذاری خودمان ساده و مؤثر کنیم.

سرمایش تبخیری

از آنجا که polar works در زمینه سرمایش تبخیری فعالیتی ندارد، شایسته نیست که انتظار داشته باشید اطلاعاتی در زمینه این تکنولوژی در اختیار شما قرار دهیم . نقص اصلی این سیستم که کاربران آن بر آن اذعان دارند تأثیراتی است که تغییر فصول سال بر آن می گذارند همچنین به علت رسیدن قطرات آب بخار نشده به کمپرسور همواره در معرض خطر تخریب و آسیب دیدن می باشد (این قطرات از سیستم مه ساز یا از سیستم اسپری آب حاصل می شوند) بسیاری از کارخانجات توربین گاز نگرانی خود را مبنی بر استفاده از این تکنولوژی به علت سایش و خوردگی هایی که در IGV یا پره های ردیف اول کمپرسور ایجاد می نماید اعلام کرده اند . ما در polar works بر این باوریم

آنچه که شما باید نگران آن باشید تجاوز این ذرات مایع به داخل کمپرسور نیست بلکه شما می توانید با استفاده از یک تکنولوژی بهتر این نگرانی را به طور کل حذف نمایید و آن جایگزین کردن سیستم سرمایش ورودی خشک می باشد.

سرمایش تبخیری از ۳ دسته عمده تشکیل می شود:

اولین حالت مدیای تبخیری است که استفاده از آن در مناطق بی آب و علف و خشک معمول می باشد و این سیستم در سالهای ۱۹۸۰ در شرق و جنوب مقبولیت بسیاری پیدا کرده بود. و به طور منطقی دارای ارزش و اعتبار زیادی شده بود مخصوصاً هنگامی که به همراه اتاقک فیلتر ورودی طراحی شده بود که در ابتدای ورودی قرار دارد. البته پشتیبانی این تکنولوژی به این سادگیها نمی باشد. بازده این تکنولوژی معمولاً در حول و حوش ۸۵٪ می باشد. یکی از نقاط ضعف مدیای تبخیری این است که در بیشتر شرایط آب و هوایی ، تعادا ساعاتی که این سیستم مؤثر است نسبتاً پائین می باشد. البته باید گفت که جریان هوا در طول سال در عبور از این سیستم دستخوش کاهش فشار می شود بعضی از کاربران این سیستم را در پائیز حذف می کنند و در بهار دوباره راه اندازی می نمایند در استفاده از این سیستم از دو چیز گریزی نیست: تغییرات و جایگزینی و حذف سیستم بر طبق فصول سال و دیگری وابستگی آن به شرایط جوی منطقه ای که در آن کار می کند.

دومین حالت (fogging) (مه پاشی) در سالهای ۱۹۹۰ بسیاری از کاربران تلاشهای زیادی را برای غلبه بر کاهش فشار و مشکلات آلودگی سیستم media انجام دادند که نتیجه آن اضافه کردن یک سیستم مه ساز به اتاقک فیلتر ورودی آن بود. سیستم مه ساز در بالای جریان عبوری از فیلتر قرار می گرفت بنابراین لازم بود که ذرات مه که ابعاد بسیار کوچکی داشته باشند تا فیلتر را مرطوب نکنند. یک نازل مکانیکی با فشار بالا می توانست ذراتی با ابعاد کمتر از ۵۰ میکرون را در اختیار قرار دهد. اما اتمیزه کننده هوایی (پیستوله) می توانست ذراتی با ابعاد ۱۰ میکرون را ایجاد

نماید. اما سیستم مکانیکی برای نگهداری و اجرا مساعدتر می باشد و از طرفی در تغذیه شدن این سیستمها با آبی با کیفیت خیلی بالاتر، نتایج کارکرد آن نیز در طول سال افزایش می یابد و بهتر می شود و می توانند ذراتی با ابعاد بسیار کوچکتر را تولید نمایند. بازده این سیستم به طور محسوسی بیشتر از سیستم media می باشد و در حدود ۹۰٪ است. سومین حالت over spray (فوق پاشش) مه سازهای مکانیکی به سمت سیستم های over spray متحول گشتند و در این سیستم ها برای رسیدن به ظرفیت اجرایی ۱۰۰٪ نیازمند استفاده از ۱۵۰٪ آب مورد نیاز می باشیم این مقدار آب اضافی به شکل قطرات بسیار ریز وارد کمپرسور می شود و در این سیستم ها از پخش این ذرات مایع صرفنظر می شود و ذرات مایع در یک الگوی اسپری شده به شکل ذرات بسیار ریز وارد کمپرسور می شود که این خود نگرانی کارخانجات و کاربران توربین گاز مبنی بر نفوذ ذرات آب و خوردگی و سائیدگی پره های کمپرسور را در پی دارد ذرات مایع به چند طبقه کمپرسور حمل می شود و نفوذ می کنند تا جایی که آنها بخار شده و با تأخیر سرمایشی را در هوا ایجاد می کنند و ضرورتاً شبیه کمپرسورهای خنک کننده درونی ارزان قیمت کار می کنند. بسیاری از کاربران از سیستم شستشو به وسیله نازل برای چند سال استفاده می کنند که اثرات خرابی نیز مشاهده نشده است

راهکار polar works

تکنولوژی مبتنی بر خشک سازی polar works شرایط قطب شمال (سرما و خشکی) را برای توربین گاز فراهم می آورد.

با عرضه یک تکنولوژی خشک با رطوبت کمتر از ۶۵٪ سیستم IAC شرکت polar works از یخبندان در مجرای ورودی و دهانه توربین جلوگیری می کند.

سایر تکنولوژیهای خنک سازی منجر به رطوبت حدود ۱۰۰٪ می شوند که درجه حرارت را به حدود بالاتر از ۴۰ درجه محدود می کند.

توان اضافی در تمام سال

سیستم IAC می تواند درجه حرارت هوا را زیر صفر درجه بیاورد. این نه تنها مقدار قدرت را در یک روز تابستانی گرم افزایش می دهد بلکه به طور چشمگیری فصل کاربرد سیستم را هم افزایش می دهد. سیستم خنک کننده هوای ورودی حداقل نصف سال تعطیل است و در مدت باقیمانده در کمتر از نصف بار کار می کند. این فاکتور ذخیره سیستم را کمتر از ۲۵٪ کل می کند در مقابل سیستم IAC از فاکتور ذخیره متوسط سالیانه ۵۰٪ تجاوز می کند و این در حالیست که پتانسیل این را هم دارد که از فاکتور ذخیره ۷۵٪ نیز عبور نماید . و این برای نیروگاههایی که با بار نامی کار می کنند بدین معنی است که به ازای هر کیلو وات ساعتی که با درجه حرارت کمتری تولید می شود ، کیلو وات ساعت بیشتری به انتهای خط می رسد .

برای بخش خرید نیروگاه این یعنی فرستادن سفارش اقتصادی بهتر و قابلیت غلبه بر مه، گرما و رطوبت:

سیستم IAC بطور ایده آل برای نیروگاههایی در محیطهای گرم و مرطوب مناسب است. مثلاً جنوب شرق آمریکا و اکثر نقاط آسیا و آمریکای جنوبی در حقیقت هر سیستم IAC برای نقاط کاری ٪۰,۴ ASHRAE هم برای درجه حرارت ماکزیمم حباب خشک وهم برای مینیمم رطوبت طراحی شده است. اولین قدم در سیستم IAC خشک کردن هوای ورودی است. بدین وسیله تغییرپذیری بار رطوبت از سیستم خنک سازی جدا می شود. این می تواند بیش از دو سوم باری که روی سیستم یخچال هست را کاهش دهد پس می تواند سایز سیستم خنک سازی را تا حد زیادی کاهش دهد.

موفقیت polar works مربوط به گسترش پاشندگی است.

یک نکته ساده و مؤثر دلیل این است:

دارندگان کارخانه های چیلر بسیار بزرگ در سطح تجاری یا سازمانی سالهاست می دانند که چالش بزرگ آنها گرما نیست بلکه رطوبت است و این یک بار نهفته بزرگ است که ثابت شده باعث نشستن بخار آب روی حلقه خنک کننده می شود و باعث افزایش اندازه و هزینه سیستم های خنک سازی می شود.

بیشتر چیلرهای کارخانه ای به سمت تکنولوژی خنک سازی همانند چیلرهای جذبی کمپرسورهای موتوردار و سیستم های خشک کن و رطوبت زا رفته اند.

با این کار دارندگان ، از مزایای «قیمت کم گاز طبیعی و انرژی گرمایی» در ماههای تابستانی بهره مند شدند در حالی که تقاضای انرژی الکتریکی خود را هم کم کردند.

استراتژی مشابهی هم برای دارندگان توربینهای گازی وجود دارد. با کاهش چشمگیر بارهای الکتریکی مزاحم مثلاً سیستم کمپرس بخار بوسیله نیروی موتوری سیستم polar works انرژی الکتریکی بیشتری را برای فروش باقی می گذارد.

این موضوع در برخی نواحی کشور که به سمت فروش رقابتی روی آورده اند بسیار با اهمیت است محل هایی که قیمت تمام شده تولید برق به حدود ۱۰۰٪ در هر mwh رسیده است.

جنبه اقتصادی سیستم polar works بر مبنای هزینه سوخت کم در تابستان و قیمت بالای برق در تابستان استوار است.

سیستم خنک سازی تجاری polar works بوسیله استفاده از کمترین توان الکتریکی برای کار خودش از بقیه پیش افتاده است. این باعث ایجاد توان الکتریکی بیشتر با قیمت بالاتر برای فروش در این هوای گرم می شود.

این چیزی است که گسترش پاشندگی راجع به آن صحبت می کند و جایی است که ما بهتر می باشیم.

مقایسه تکنولوژی فاگینگ در مقابل سیستم polar

اگر طیفی از تکنولوژیهای سردسازی ورودی وجود داشته باشد، فاگینگ در یک انتهای آن طیف و polar works انتهای مقابل آن می باشد.

بنابراین اگر فاگینگ موفق است و به طور وسیعی اجرا می شود، چرا خوب است که polar در مقابل آن باشد؟ دلیلش ساده است: به خاطر اینکه اضافه شدن سیستم polar works به یک نیروگاه کار منطقی تری است اضافه کردن یک تأسیسات جدید تولید توان ، بدون اینکه مقدار زیادی خط انتقال و اتاق کنترل جدید و غیره اضافه نمائیم. Polar works مقدار زیادی توان اضافه ایجاد می کند. هنگامی که فاگینگ توان را در کمترین هزینه سرمایه اولیه فراهم می کند، شما هرگز نمی دانید که چه هنگامی قصد دارید آن توان را بگیرید یا چه مقدار از آن رامی خواهید ببینید. اکثر طرفداران فاگینگ سیستم خود را در دماهای محیطی به کلی نامعقول ، اغلب بیش از ۱۱۰ درجه، برآورد می کنند. هنگامی که این دما در مکانهایی مانند نوادا و آریزونا وجود دارد، در میامی، هوستن و یا آتلانتا وجود ندارد. اگر شما به منحنی عملکرد نیروگاه خود توجه کنید واقعاً انتظار دارید سیستم فاگ شما در طی سال چه مقدار مگاوات ساعت اضافی ایجاد کند.

در اینجا یک مثال داریم. اجازه بدهید که به پیکربندی یک نیروگاه معمولی توجه کنیم، دو عدد توربین گازی با تکنولوژی "F" در یک سیکل ترکیبی به طور نامی ۵۰۰ مگاوات در نور فولک ویرجینیا ایجاد می کند. نورفولک به این دلیل انتخاب شده است که متوسط دمای سالیانه ۵۹ درجه فارنهایت دارد بنابراین برخی از خصوصیات منطقه ISO را از خود نشان می دهد. یک نیروگاه در این منطقه باید بیشتر یا کمتر از متوسط ثبت شده، تجهیزاتش را در طی دوره سالانه تولید کند.

در بعدازظهر جولای نیروگاه مشابه بالا با سردسازی تبخیری از ۱۱۲/۳ مگاوات افزایش با توسعه توان از طریق سیستم فاگینگ با نرخ مؤثر ۸۵ درصد بهره خواهد برد.این توسعه توان در مقابل آن چیزی که به طور پایه نیروگاه ، بدون سیستم خنک سازیو بصورت همیشگی تولید می کرد اندازه گیری شده است. نیروگاه تجهیز شده با polar works از ۱۱۲/۷ مگاوات افزایش با توسعه توان در شرایط مشابه ما را بهره مند خواهد کرد. هنوز متقاعد نشده اید؟ این نیروگاه احتمالاً یک افزایش ۲۸۷۶۵ مگاوات ساعت را در هرسال از طریق سیستم فاگ خواهد دید. نیروگاه تجهیز شده با سیستم polar works هر سال شما را از ۶۷۸۶۸۷ مگاوات ساعت افزایش بهره مند خواهد کرد.

به این معنی که متوسط خروجی سالیانه از سیستم فاگینگ کمتر از ۳ مگاوات با ضریب ظرفیت متوسط سالیانه حدود ۲۷ درصد است.

متوسط سالیانه خروجی از یک سیستم polar works ۷۷ مگاوات است و ضریب قدرت متوسط سالیانه ۶۹ درصد دارد.

سیستم فاگینگ چه کاری در نرخ ایزوی ۵۹ درجه فارنهایت انجام می دهد؟ در تئوری احتمالاً ۵ یا ۶ مگاوات ایجاد میکند. اما همیشه اینگونه نمی باشد.وابن در زمانی است که polar works همیشه ۷۶/۸ مگاوات ایجاد خواهد کرد. در حقیقت، سیستم سردسازی polar works تنها سیستم موجودی است که در شرایط استاندارد ۵۹ درجه فارنهایت ایزو ، با روشی پرمعنی می تواند ارزیابی شود.

بنابراین، کدام تکنولوژی برای هر کیلووات هزینه متوسط نصب شده پائین ترین دارد ؟ این تفاوت که در حدود ۱۵۰ دلار در هر کیلووات است هنوز ما را نسبت به سیستم فاگ سوق می دهد ،. انتظار داریم سیستم polar works سه برابر این مقدار هزینه داشته باشد . که هنوز بسیار کمتر از هزینه سیکل ترکیبی می باشد، بنابراین اضافه

کردن polar worksبه یک نیروگاه جدید واقعاً می تواند هزینه هر کیلوات را کاهش دهد، هنگامی که حاشیه احتیاطی نیروگاه به طور مهمی افزایش می یابد.

چه استانداردی در ۵۰ درجه فارنهایت سیستم های سردسازی را در این نوع از مقایسه پوشش می دهد؟

سردسازی

سردسازی بر پایه چیلینگ سردسازی ورودی توربین گاز با فلزات بزرگ است. با توجه به اینکه در اولین هزینه پایه گرانتر از فاگینگ می باشد بسیار مؤثرتر و قابل اطمینان تر می باشد.

Fogging

مه سازی در ورودی که تقریباً هم معنی با سرمایش ورودی گرفته می شود مفهومی است که ما قصد اصلاح و روشن کردن آن را داریم. Polar works در بخش خنک کننده های مبتنی بر سرمایش فعالیت دارد در حقیقت اگر طیف خاصی از صاحبان صنعت و تکنولوژی در اختیار داشته باشیم آنانکه در بخش خنک کننده ورودی و مه ساز فعالیت دارند در یک طرف نمودار قرار دارند و در انتهای دیگر polar works می باشد و مابقی که همانند polar works بر پایه سرمایش کار می کنند در بین این طیف قرار می گیرند .

عوامل اقتصادی سیستمهای سرماساز

تکنولوژی خنک سازی بر پایه سرمایش نسبت به سیستمهای مه ساز در یک دوره یک ساله ، سرمایش و قدرت بیشتری را تولید می نماید.

بر خلاف بیشتر سیستمهای استاندارد سرماساز که در شرایط آب و هوایی مرطوب دستخوش تغییرات و کاهش شدید خروجی می شوند و دارایی خود را از دست می دهند سیستمهای مبتنی بر سرمایش توانایی انجام حداقل کار مفید را در شرایط هوای مرطوب دارند و این امر هنگامی از اهمیت بیشتری برخوردار می شود که نیروگاه یک ترازنامه تست ظرفیت داشته باشد که این بهترین راه برای برآورد کردن و بررسی کارآیی تجهیزات تست ظرفیت خروجی، استفاده از یک سیستم خنک کننده مبتنی بر سرمایش می باشد.

همچنین در شرایطی که نیروگاه شما در یک منطقه خشک مانند نوادا یا آریزونا قرار دارد، تلاش برای انجام تست ظرفیت با استفاده از سیستم مه ساز بسیار نامعقول و غیرعقلانی است.

برای یک نیروگاه سیکل ترکیبی تجاری، یک سیستم مبتنی بر سرمایش می تواند تولید قدرت خروجی ماکزیمم را در گرم ترین ساعات سال تضمین نماید. این زمان هنگامی است که قیمت خالص استفاده از جریان الکتریسیته سر به فلک می کشد.

اگر افزایش ظرفیت سیستم مه ساز ناکافی باشد، در یک تابستان گرم و در اثر نوسانات اجتناب ناپذیر دمای هوا ، استفاده از سیستم مه ساز باعث شرمندگی می شود و عوارض زیادی را در پی خواهد داشت.

در مورد پس دادن خرید در صفحه اقتصادی بحث می کنیم و در آنجا از چگونگی پس دادن خرید به عنوان ابزاری برای نشان دادن تکنولوزی خود در پروژه خنک سازی ورودی، پرده برداری می کنیم.

از آنجا که روش مه سازی در ورودی ممکن است سریع ترین بازگرداندن را داشته باشد عوارض سالیانه آن نیز نسبتاً کمتر می باشد از طرف دیگر عوارض سالیانه در تکنولوژی مبتنی بر سرمایش در حال افزایش است. ما برای مقایسه

بین مه سازی در ورودی و روش مبتنی بر سرمایش استفاده از روش NPV که برای ارزیابی اعتبارات و ملزومات به کار می رود را توصیه می کنیم.

تکنولوژی سرمایش

تراکم بخار: سیستمهای تراکم بخار مانند یک سیستم تهویه مطبوع استاندارد کار می کنند یک مبرد فشرده و متراکم می شود. سپس در یک تبخیرکننده منبسط می گردد و سپس دوباره فشرده می شود.

تبخیرکننده ممکن است یک کوپل خنک کننده در مسیر یک جریان ورودی یا یک مبدل حرارتی باشد که توانایی تولید آب خنک را دارد و آب خنک توسط پمپ در یک چرخه به داخل یک کویل خنک کننده هدایت شده و در مسیر جریان ورودی قرار می گیرد. سیستمهای تراکم بخار معمولاً توسط موتور الکتریکی به چرخش درمی آیند که یک بار اضافی را بر خروجی نیروگاه تحمیل می نماید و بازده را کاهش می دهد و بررسی های انجام شده نشان می دهد که برای هر ۷kwافزایش قدرت ایستگاه یا نیروگاه که توسط سیستم مبتنی بر سرمایش ایجاد می شود در حدود ۱kw صرف سیستم تراکم بخار می شود.

گرچه این مقدار آنقدر زیاد به نظر نمی رسد. اما باید آن را در برابر توربینهای گازی کلاس F و G در نظر گرفت این سیستمها که دارای گرمایش مجدد (HRSG) هستند نشان می دهند که افزایش آهنگ حرارت آنچنان که انتظار داریم پیش نمی رود و کمتر از آن است و این مقدار در ساعات طراحی می تواند متحمل تغییرات زیادی شود.

سیستمهای تراکم بخار را می توان توسط توربینهای بخار و موتورهای گاز طبیعی به حرکت درآورد.

برای نیروگاههایی که در بیشینه توان کار می کنند، انتخاب موتور گازی معقول و منطقی است و برای نیروگاههای سیکل ترکیبی توربین بخار انتخابی بسیار خوب می باشد و ما (polar works) طرفدار شدید استفاده از سیستمهای محرکت توربینی هستیم.

چیلرهای جذبی

چیلرهای جذبی معمولاً دارای هزینه های اولیه و سرمایه گذاری اولیه بیشتری نسبت به سیستمهای تراکم بخار می باشند همچنین ضریب اجرایی (ضریب عملکرد) کمتری نیز دارند (COP).

ما در (polar works) بر این باوریم که تکنولوژی چیلرهای جذبی در فرآیند خنک کاری ورودی نادیده گرفته شده است و می دانیم که این خطا در حال تغییر و تحول و از بین رفتن است و هم اکنون نیروگاههای مختلفی با موفقیت از سیستم جذبی استفاده می کنند.

سیستم های جذبی بار تحمیلی و اضافی کمتری دارند آنها می توانند با گاز طبیعی یا بخار فشار پائین کار کنند. چیلرهای جذبی که با گاز طبیعی کار می کنند ، برای نیروگاههایی که در بیشینه ظرفیت فعالند انتخاب مناسب و خوبی هستند و برای سیکلهای ترکیبی، چیلرهای جذبی که با بخار فشار پائین کار می کنند گزینه ای مناسب هستند. در شرایط خاص و برای نیروگاههای تولیدی قدیمی که در فشارهای میانی (۱۵۰ psi) کار می کنند بخار مورد نیاز سهل الوصول می باشد.

هنگامی که می خواهید بین یک سیستم تراکم بخار و یک چیلر جذبی یکی را انتخاب کنید شما نیاز دارید ساعات کارکرد سالیانه سیستم و تلفات به هدر رفته بوسیله چرخاننده الکتریکی سیستم کمپرس بخار را بدانید.

اگر این کار را انجام دهید، شما خواهید دید که درآمدهای بالاتر مالیاتی الکتریکی با سرعت بسیار اندکی هزینه اولیه بیشتر جذب را جبران می کند. اگر کمپانی سردسازی که شما از آن درخواست توضیحات را کرده اید نتوانست به شما نوع آنالیزهای جزء به جزء را بگوید نتیجه گیری این است که با افراد دروغگویی در حال مذاکره هستید. یکی از اشکالات چیلرهای جذبی این است که آنها بزرگتر از یک سیستم کمپرس بخار مشابه هستند. چرا که فضا در بیشتر تجهیزات نیروگاهها دارای ارزش زیادی است. این می تواند یکی از اشکالات برای انتخاب تکنولوژی

جذبی باشد. بیشتر چیلرهای جذبی جدید(به طور ویژه مدلهای دو تأثیره) یک جای پای کوچکتر ، نسبت به مدلهای قدیمی تر دارند که تا حدی این نگرانی را کم می کند.

جذب توربو:

برای مدت زیادی بحث بر سر این ایده بوده است، و بوسیله GRI و دیگران پشتیبانی شده است. این ایده بر پایه استفاده از یک سیستم کمپرس بخار چرخنده بوسیله توربین برای قسمتی از بار سرد شونده می باشد. توربین که طرح فشار از پشت می باشد از یک فشار با حداقل ۱۲۵psig ، به خروجی ، با فشار پائین ۱۵psig عمل می کند. خروجی بخار فشار پائین برای تهیه بقیه بار سردشونده به سمت یک چیلر جذبی هدایت می شود. این سیکل بخار برای سرد کردن یک سیکل ترکیبی است که برای تولید توان به کار برده می شود. Polar works یکی از طرفداران این تکنولوژی تحریک کننده در پروژه می باشد.

بیشتر نیروگاهها به طور متوسط شیرهای بخار فشار بالا (۱۵۰-۲۵۰ psig) و فشار پائین (۱۵psig) دارند. ایجاد تجهیزات با مجموعه ای از این تکنولوژیها صحیح تر است. یکی از بزرگترین مزیت های این سیکل بدین صورت است که بار بخار افزایش یافته در تابستان در انتهای عقب کندانسور و توربین بخار را کاهش می دهد. در سیکل جذب توربوی polar works ، ما می توانیم هنوز انرژی مکانیکی این بخار فشار متوسط را استخراج کنیم و گرمای پنهان چگالش بخار را به نفع خودمان در چیلر جذبی استفاده نمائیم. در هنگامی که فشار موجود در عقب توربین بخار کاهش می یابد، دیگر بهتر از این نمی شود. اگر کمپانی سردسازی شما نمی تواند به شما بگوید که چه تأثیری از سوی تکنولوژی آنها بر روی فشار عقب توربین بخار شما خواهد بود آنگاه شما امکان دارد با متخصصان تولید توان در polar works بخواهید صحبت کنید.

ذخیره انرژی گرمایی (TES) می تواند فقط با یک سیستم سردسازی انجام شود. صفحه مربوط به این تکنولوژی مهم را ببیند که چگونه می توان به طور مهمی اقتصاد یک نیروگاه با پیک تولید را بهتر کرد.

ذخیره انرژی حرارتی

ذخیره انرژی حرارتی (TES) زیرشاخه ای از تکنولوژیهای تبرید بر پایه خنک سازی ورودی می باشد. TES می تواند به طور قابل ملاحظه ای اندازه یک سیستم تبرید را کاهش دهد و همچنین می تواند مقادیر پراکنده بار الکتریکی یک چرخه تبرید را در طی ساعات اوج مصرف کاهش دهد. TES معمولاً در نیروگاههای بالابرنده یا نیروگاههایی که ساختارهای متفاوتی برای توان بیشینه یا غیربیشینه دارند به کار گرفته می شود. برای مثال اگر یک توربین گاز بالابرنده فقط ۴ ساعت در روز کار کند. ساخت یک نیروگاه تبرید که در بار کامل برای فقط ۴ ساعت در روز عمل کند معقول نیست. این مسأله به خاطر اینست که تبرید بر خلاف الکتریسیته می تواند ذخیره شود. بنابراین معقول تر نیست که یک سیستم تبرید که به اندازه حدود ۲۰٪ اوج بار است ساخته شود و به آهستگی ظرفیتی از هوای خنک را بسازد و ذخیره کند و آن ظرفیت را در شرایط زیر بار مصرف کند.

TES همچنین می تواند در نیروگاههای اصلی استفاده شود، زمانی که استفاده از بیشترین حجم ذخیره هوای سرد در میانه روز اتفاق می افتد. این ذخیره هوای سرد می تواند در ساعات بعدازظهر یعنی زمانی که عمل تبرید بسیار مؤثرتر و اقتصادی تر است به سردکننده برگشت داده شود. هوای سرد معمولاً به صورت یخ یا آب سرد شده در مخزن های خیلی بزرگ ذخیره می شود.

به کارگیری TES در مکانهایی که دارای محدودیتهای فضایی شدیدی می باشند سخت است. این مخزن ها معمولاً هزینه اولیه قابل ملاحظه ای دارند. بنابراین اجرای تجزیه و تحلیل های مالی برای این پروژه ها می تواند کمی پیچیده

باشد اگر چه بیشتر مهندسان مشاور انرژی می توانند با وجود مزایای TES سرانجام از لحاظ محاسبات مالی به طور اساسی تأمین شوند.

جایگزینهای TES

یک جایگزین برای TES استفاده از چیلرهای با موتور گازی یاچیلرهای جذبی-حرارتی برای اوج بار می باشد. بیشترین هزینه اولیه این سیستمهای تبرید با هزینه سرمایه ای بالای مخازن و تأسیسات TES برابری می کند به عبارت دیگر مقادیر پراکنده بار الکتریکی از یک سیستم تبرید تراکم بخار استاندارد بوسیله این جایگزینهای خنک کننده گاز تعویض شده اند. یک چیلر با موتور گازی برای مکانی که ساعتهای فعالیت محدودی در روز و در سال دارد راه حل مناسبی است یک چیلر جذبی- حرارتی می تواند برای مکانهایی که ساعات عملکرد بیشتری دارند معقول باشد. یک مزیت دیگر TES و روشهای خنک سازی گاز، تغییراتی است که می تواند مکان تأسیسات الکتریکی را کوچکتر کند یکی از موارد منفی که باعث عدم استفاده از تراکم بخار الکتریکی در بیشتر مکانها می باشد جایگذاری و اتصال یک ترانسفورمر بزرگ برای بارهای الکتریکی جدید است. بوسیله TES و تکنولوژیهای خنک سازی گاز، بار الکتریکی تجهیزات جدید به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد و ممکن است برای بارهای کوچکتر در نیروگاههایی که دارای واحد کنترل دور موتور مباشد، ظرفیت کافی داشته باشد.

سیستم polar works می تواند معمولاً در روش TES مورد استفاده قرار گیرد. در حقیقت ما می توانیم سرمای خشک کننده را در روشی مشابه با ذخیره تبرید، ذخیره کنیم. به خاطر این مزایای بارز سیستم خنک ساز هوای ورودی polar works می تواند در حالتی مشابه در روش TES به کار گرفته شود. در شرکت polar works به دلیل قوانین مالی جدیدی که در بازار الکتریکی آزاد وجود دارد، ما انتظار دیدن روشهای تازه ای را در صنعت

خنک سازی هوای ورودی داریم. TES و تکنولوژی های خنک سازی گاز نقش چشمگیری را در پروژه های خنک سازی پیشرفته به عهده خواهند گرفت.

امکان ساخت /خودمحوری/قابلیت اجر

چالش مالی:

پروژه های خنک سازی ورودی معمولاً محصول بهینه سازی های عمده در نیروگاههای موجود می باشد . بعنوان یک نتیجه قواعد مالی دوره بازپرداخت کوتاهتری نیاز دارند (معمولاً یک سال) و تکنولوژی های خنک سازی هوای ورودی موجود می توانند این قابلیت را به همراه بیاورند برای کارخانه ها و تکنولوژیهایی که بازپرداخت مناسبی به نمایش می گذارند. بسیاری از پروژه ها از لحاظ مالی بخاطر شرایط محدودکننده قرار داد تحت فشار هستند. آنها اجازه ندارند بهینه سازی مهم یا وام اضافی را بپذیرند این گاهی اوقات باعث یک بهینه سازی فرعی می شود ولی پروژه سودمندی ایجاد نمی شود.

راه حل polar works : با مدل B/O/O ما پیشنهاد این شانس را می دهیم که یک نیروگاه گازی موجود ، یک تیم حرفه ای طراحی و ساخت داشته باشد و خنک سازی اضافی هوای ورودی را انجام دهد. به این دلیل که ما اعتقاد داریم که سیستم خنک سازی ورودی هنگامی که به درستی طراحی شده باشد از یک پروژه بهینه سازی عمده ظرفیت اضافی بیشتری دارد. بدین معنی که اگر شما یک نیروگاه جدید بسازید و از نظر مالی باز هم در مسیر مشابهی هستید. پروژه خنک سازی بزرگی باید به عنوان راه حل بکار گرفته شود.

شرکت polar works فقط اوراق off- balance مالی و لیزینگ را تنظیم نمی کند بلکه یک سرویس خنک ساز را هم فراهم می کند.

برای مشخص کردن مدل مناسب که به موقعیت معمولی شما بهبود ببخشد ما می توانیم موافقت نامه خرید توان فعلی (PPA) را به عنوان نقطه آغاز به کار ببریم،

گزینه ها شامل :

- *قیمت برای سرویس:* polar works سرمایی راکه به سیستم خنک ساز داده شده را اندازه می گیرد و بر مبنای تن بر ساعت هزینه را تعیین می کند. این یعنی شما در مقابل سردسازی که انجام می دهید پول می دهید و از مزایای آن بهره مند می گردید. سردسازی به هزینه متغیر تولید تبدیل می شود.
- *ظرفیت سرویس:* polar works تأسیسات را با توجه به توزیع آنها طبق دستور سایت اصلی آماده می کند. این جایگذاری دارای مزایای مالی می باشد و برای نیروگاههایی که مجبور به توزیع بار یا بار پاره وقت هستند مناسب می باشد. هزینه سرویس ما بر طبق طرح طولانی تر مالی پخش می شود.

سرویس توسعه دادن :

برای نیروگاههای تجارتی، polar works سیستم خنک سازی را طوری می سازد که از لحاظ مالی یک کمپانی انرژی سه قسمتی می گردد و یک موافقت نامه عوارض با سایت اصلی دارد. از لحاظ مالی این به یک بازپرداخت با ظرفیت آب و هوا معنی می گردد که سایت شما را بوسیله قسمت سوم می سازد و در مقابل برای شما نقش یک مبدل BTV را بازی می کند. هر B/O/O برای خودش بصورت قانونمند و مستقل ایجاد می شود و قابلیت جذب هزینه پائین مالی و متنوع را برای ما در هر پروژه فراهم می کند.

کاهش ریسک پروژه: هنگامی که polar works یک زیرسرویس B/O/O را می سازد ما توسعه پروژه و نقش مالی را برای توان خروجی نهایی برعهده می گیریم. ما ریسک اینکه سیستم خنک ساز طبق توافق عمل کند را به عهده می گیریم. ما می توانیم بار سردشده را در جایگاه اصلی توزیع کنیم. ما می توانیم تمام امکانات لازم (برق،

گاز، آب جبرانی) را از خارج نیروگاه بدست بیاوریم. اگر لازم شد ما می توانیم در بهینه سازی نیروگاه هم مساعدت کنیم. ما می توانیم در تضمین قدرت اضافه شده در میان موافقتنامه های عوارض با فروشندگان گاز هم مساعدت کنیم. ما می توانیم حتی بار سرمایی فصلی را به مشتقات آب و هوا گره بزنیم. ما این سرویسهای قابل انعطاف را برای مشتریان فراهم می کنیم چون ما چالش هایی که آنها با آن مواجه هستند را می دانیم زیرا ما در موقعیت آنها بوده ایم.

ظرفیت و گنجایش اضافی و عوامل اقتصادی و اعتباری آن

ما در رابطه با استفاده از ظرفیت اضافی برای برگرداندن نیروگاه به حالت حرارتی ماکزیمم، در شرایط تغییرات فصلی، بسیار دقیق عمل می کنیم وعموماً سعی داریم تا خود را با ساختارهای محدود کننده زیست محیطی نیروگاه منطبق کنیم.

از آنجا که انتشار گازها می تواند در هر KW افزایش یابد، مقدار کلی بر حسب tons/year در هر پروژه خنک سازی ورودی زیاد می شود در بعضی موارد با قرار دادن سیستم کنترل انتشار گاز خروجی نیروگاه، مقدار کمی NO_x تولید شده و یک ظرفیت توان اضافی در اختیار قرار خواهد داد که این کار به طور مثال می تواند با افزایش جریان بخار و پاشش آن انجام شود.

فصل دوم :

ملاحظات اقتصادی و تکنولوژیکی

برای عملیات افزایش کارایی

نیروگاه سیکل ترکیبی

خلاصه

در طی چندین سال گذشته تغییرات بسیار زیاد و اساسی و تحولات وسیعی در صنعت تولید توان به وقوع پیوسته است.کاهش حد ذخیره و دمای بسیار زیاد هوا منجر به توجهات تولید_عملکردی اقتصادی برای دارندگان نیروگاههای کنونی و توسعه دهندگان نیروگاههای جدید شده است.

افزایش مستمر در مدت ماکزیمم دیماند توان در تابستان و افزایش نرخ پیک انرژی($/Kwh) دارندگان نیروگاههای موجود و توسعه دهندگان نیروگاهها را به جستجوی روشهائی برای افزایش توان و بهینه کردن عملیات و ایجاد منبع درآمد تشویق می‌کند. روشهای مختلفی جهت بهبود عملکرد نیروگاههای سیکل ترکیبی در زمان طراحی اولیه کارخانه و یا در مراحل بعدی وجود دارد.

اصلاحات زیادی در خروجی نیروگاهها و راندمان توسط دمای بخار بیشتر؛سطوح فشار _بخار مختلف یا سیکل های ری هیت (reheat) میتوان انجام داد. به طور مثال نصب گرمازای سوخت گاز روی سیکلهای ترکیبی نیروگاهها برای بهبود کارائی مسأله‌ای عادی است. علاوه برآن مدخل هوای سرد به توربین‌های گازی برای افزایش خروجی توربین گاز و بازدهی سیکلهای ترکیبی موثر است.

یک نکته قابل توجه برای افزایش کارائی سیکلهای ترکیبی وجود دارد. مقاله موجود یک شرح تکنیکی از راه‌حل‌ها و روشهائی برای افزایش منافع و کارائی و بحث پیرامون ارزیابی اقتصادی پتانسیل روشها و اجزاء این روشهاست.

مراجعه به جلد ۷FA و GE نشان می‌دهد توربین گازی که در سالهای خیلی پیش فروخته شده است تعهدات زیادی را در سالهای آینده قبول می‌کند. یک انتظاری که از این دستگاه می‌رود این است که به دستگاه سیکل ترکیبی STAG ۲۰۷A شباهت داشته باشد (دو توربین گازی و یک توربین بخار)

ارزیابی اقتصادی افزایش کارائی به شکل یک سرفصل مطالعاتی برای ساختار دستگاه سیکل ترکیبی STAG ۲۰۷FA ارائه شده است.

مقدمه

در خلال طراحی اولیه یک ماشین خروجی ماشین و راندمان آن مورد ملاحظه و دقت قرار می‌گیرد بدلیل اینکه آنها با قیمت الکتریسیته، قیمت سوخت، سرمایهٔدستگاه، ارزش و سرمایهٔ فروش الکتریسیته در ارتباط هستند. این عوامل انتخاب توربین گاز را به جلو هدایت خواهند کرد همانندطراحی سیکل اصلی در عملیات سیکل ترکیبی.

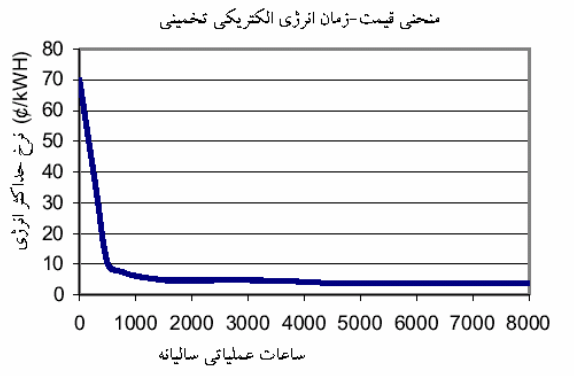
همانند افزایِش هزینه های سوخت مسایل دیگر سیکل از قبیل فشار بخار بالاتر، سطوح فشار بخار، سیکلهای مجدد گرمائی و دمای بخار بالاتر به طور عمومی مورد تأثیر واقع می‌شوند .یک بار این انتخاب انجام می‌شوند عوامل دیگر با آن کنترل می‌شود.

آیا نیازی به بالابردن تولید قدرت پیک با صرف هزینه بیشتر احساس می‌شود. در اینصورت با کدام یک از راههای تزریق آب یا بخار یا گرمای آتش تکمیلی برای بهبود بخار ژنراتور و افزایش خروجی توربین گاز میسر خواهد شد. مقدار پیک مصرف در یک روز گرم در تابستان چقدر است. این موضوع ما را به حقیقت استفاده از پتانسیل خنک‌کاری و سردسازی هوای ورودی توربین گاز رهنمون می‌سازد.

در دستگاههای فعلی نیز برخی از روشهای افزایش کارائی می‌توانند به طور اقتصادی به بالابردن قدرت خروجی و راندمان کمک کنند. اگر چه بخش ابتدائی این مقاله به موضوع افزایش خروجی می‌پردازد، بحث مختصری را هم پیرامون گرمای سوختن گاز که تکنیکی است مورد استفاده در بالابردن راندمان دستگاههای سیکل ترکیبی ارائه می‌کند.

توانائی تجهیزات و ژنراتورهای مستقل قدرت برای افزایش خروجی دورتر از کارخانه اصلی در ساعات اوج مصرف در تابستان جهت طراحی ساختار کارخانه سیکل ترکیبی مورد توجه قرار گرفته است.

در سالهای اخیر تجهیزات و Ipps در ایالات متحده مزایائی را برای ایجاد ظرفیت قدرت در ساعات اوج مصرف در تابستان دریافت می‌دارند.



شکل ۱ - منحنی برآورد قیمت الکتریسیته را بصورت ساعات عملکرد سالیانه نشان می‌دهد. با وجود این منحنی مدت - قیمت در زمان نسبتاً کوتاهی حداکثر اثربخشی یک کارخانه به وسیله اندازه اوج انرژی برآورد می‌شود.

بنابراین یک ماشین که بتواند به طور اقتصادی حجم عظیمی از قدرت را انتقال دهد دارای بیشترین سوددهی و منفعت است. مادامیکه روند فروش همچنانکه در شکل ۱ رسم شده است در طراحی و توسط فازهای سیکل ترکیبی مورد توجه قرار گرفته است پیش‌بینی روند فروش آینده و انتظارات مشتری (مصرف‌کننده) از اهمیت یکسانی برخوردار بوده و ملاحظات طراحی را توجیه می‌کنند.

یکی از ملاحظات اولیه توسعه دهندگان کارخانه‌های سیکل ترکیبی و نیز دارندگان و کاربران کارخانه‌های موجود بهره‌وری و روانسازی در آمد کارخانه است.

یکی از اثرات افزایش پیک قدرت و افزایش تقاضای انرژی، نکته مهم افزایش فضای کارخانه است که این به نوبه خود باعث افزایش قیمت تمام شده (مؤثر) وقتی که کارخانه بی‌بار است و تقاضائی(مصرفی) وجود ندارد خواهد شد.

بعلاوه برای به حداکثر رساندن سوددهی کارخانه در چهره بازار امروز، توقعات روند فروش آینده بایستی مورد توجه قرار بگیرد.

-تکنیکهای ارزیابی اقتصادی

از دید اقتصادی این مقاله به طور کیفی آب کردن (فروختن) ماشین سیکل ترکیبی با گزینه افزایش کارائی را با همان ماشین که فاقد گزینه افزایش کارائی است بررسی خواهد کرد هدف ما تعیین گزینه‌های افزایش کارائی یا ترکیب این گزینه‌ها که بتوانند به خدمت افزایش سوددهی ماشین سیکل ترکیبی جدید در آیند است.

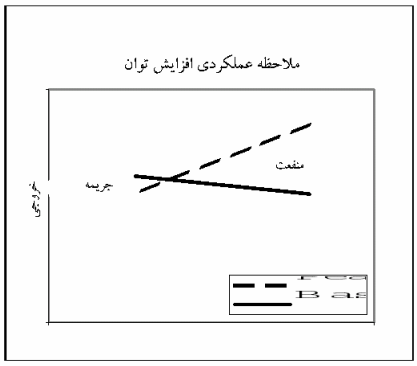
مرجع واژه‌های اقتصادی که در این متن استفاده شده در انتهای مقاله آمده است. تحت انتظارات اندک (مصرف کم) تکنیکهای افزایش قدرت جهت ساختار اصلی ماشین (کارخانه) با چالش جدی مواجه خواهد شد و از اینرو برروی شبکه درآمدزائی کارخانه در خلال زمانهای بدون بارخواهد داشت.

شکل ۲ یک مفهوم اغراق‌آمیز از این موضوع را نشان می‌دهد، به طور کلی در زمانهایی که تولید در اوج نیست کارائی، محرک اقتصادی غالب است. تاهنگامیکه ارزیابی اقتصادی در زمانهای اوج مصرف غلبه پیدا کند. بنابراین یک مدل اقتصادی که قیمت الکتریسیته (COE) را در زمان غیراوج تا هنگامیکه مصرف اوج مقدار خود را دارد، مورد ملاحظه قرار دهد، بسیار حائز اهمیت است.

پس از داشتن مقدار نهائی سطوح کارائی در زمانهای اوج مصرف و غیر اوج مصرف برای بدست اوردن راههای مختلف افزایش کارائی، تحلیل اقتصادی قیمت الکتریسیته، جهت تعیین راه‌حلی که موجب بهترین طول عمر دستگاه

شود بکار می‌رود. بعلاوه برای گنجاندن هردو بخش اوج و غیراوج سطوح کارائی، مدل قیمت الکتریسیه شامل جدائی پیک سالیانه و ساعات کارکرد در زمانهای غیرپیک، پرداخت تفاوت (هزینه اضافی) برای ظرفیت تولید نیرو در پیک، قیمت سوخت، هزینه کارخانه، هزینه مازاد جهت افزایش و قیمت نصب و بهره‌برداری کارخانه می‌شود. پس این مدل (CEO) جهت تعیین حساسیت راه‌حل ارائه شده برای افزایش قدرت نسبت به پارامترهای اقتصادی در آن بکار می‌رود. بیشتر فرصتهای قدرت پیک (توربین گاز) در سیکل بالا و نقطه مقابل آن (توربین بخار) در سیکل پائین وجود دارد.

به طور کلی بجز مجرای سوخت در توربین بخار (HRSG) ، چند طرح مستقل وجود دارد که سیکل پائین را تولید می‌کند. بنابراین در حالت کلی افزایش کارائی در توربین گازی، افزایش را در کارائی سیکل پائین در نتیجه به افزایش در انرژی خروجی توربین گازی منجر خواهد شد



-**افزایش خروجی** افزایش خروجی کارخانه به دو طبقه کلی تقسیم می‌شود: خنک‌کاری هوای ورودی توربین گاز و افزایش قدرت.

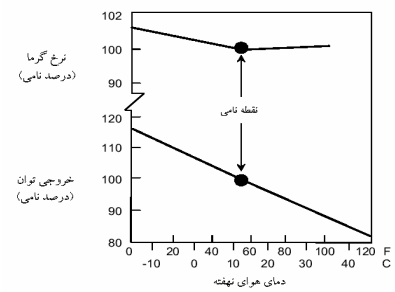
-خنک‌کاری هوای ورودی توربین گاز

جهت کاربردهائی که تولید انرژی مهم است و بالاترین قیمت را داراست مثلاً در ماههای گرم، خنک سازی هوای ورودی به توربین گاز جهت افزایش خروجی حائز اهمیت است. خنک‌سازی هوای ورودی توربین گاز باعث

افزایش خروجی به وسیله بهتر شدن مشخصه‌های توربین گاز از جمله مقدار جریان هوای بیشتر و در نتیجه کاهش دمای ورودی کمپرسور می‌شود. توربینهای گازی صنعتی که دور ثابت دارند ماشینهای حجم، فلو ثابتی هستند. حجم مشخصی از هوا نسبت مستقیم با دما دارد. به جهت اینکه هوای سرد شده چگالتر است باعث بهره بیشتر چگالی جریان هوا و فشار می‌شود و در نتیجه افزایش خروجی را در پی خواهد داشت نیز در کاربردهای سیکل ترکیبی بهبودهای اندکی در راندمان گرمائی بوجود آمده است.

شکل ۳ نشان می‌دهد که یک کاهش ۱۰^{F} در دمای خشک ورودی به توربین گاز در حدود ٪۲,۷ خروجی سیکل ترکیبی را بهبودی می‌بخشد. تغییرات واقعی با روشهای بکارگیری خنک‌سازی کندانسور توربین گاز در ارتباط است. سیکل ساده خروجی بصورت درصدی افزایش پیدا می‌کند.

چند روش برای کاهش دمای ورودی توربین گاز وجود دارد. برای سیستمهای فعلی دو روش عمده خنک‌کاری استفاده می‌شود. روش اول و نیز گسترده، پذیرفته شده توسط سیستمها ،روش خنک‌کاری تبخیری است. خنک‌کننده‌های تبخیری از بخارکردن آب برای کاهش دمای ورودی توربین گاز بهره می‌برند. سیستم دوم روشهای مختلفی را برای سردکردن هوای ورودی به کار می‌گیرند در این سیستم واسط خنک‌کاری در یک مبدل گرمائی در کانال ورودی برای گرفتن هوای گرم از هوای ورودی نهاده شده است خنک‌کاری تبخیری بوسیله حباب تر محدود می‌شود. بنابراین استفاده از روش سردسازی می‌تواند دمای ورودی را سردکند که کمتر از دمای حباب تر است در نتیجه خروجی بیشتری بدست خواهد آمد البته با کمی هزینه بیشتر. بسته به سوخت و ساز و سیستم کنترل، خنک‌کاری تبخیری انتشار، Nox را می‌تواند کاهش دهد.



شکل ۳:تغییر عملکرد سیستم سیکل ترکیبی با تغییر دمای نهفته هوا

در طراحی واحدهای جدید اگرچه دمای ورودی کمپرسور کاهش پیداکرده است ولی دمای ژنراتور ، ترانسفورماتور و روغن روانکاری سیستم کاهش پیدا نکرده است.

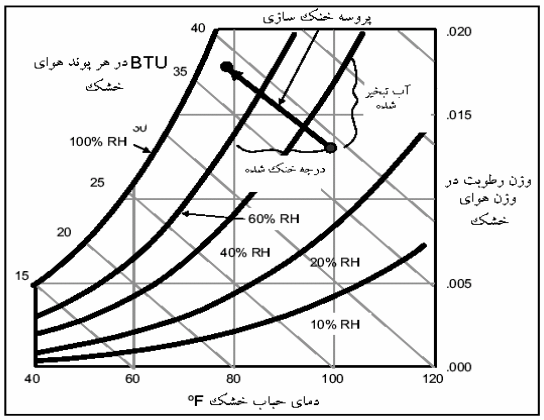
خنک‌سازی تبخیری

خنک‌سازی تبخیری روش اقتصادی و مؤثری است برای افزایش ظرفیت ماشین در خلال هوای گرم وقتی که پیک بار به سیستمها ضربه وارد می‌کند مشروط بر اینکه نسبت رطوبت خیلی بالا نباشد.

-روشهای خنک‌سازی تبخیری

کار خنک‌کاری تبخیری براساس کاهش دمای جریان هوا بوسیله بخار آب است. فرایند تبدیل آب از مایع به بخار نیازمند انرژی است. این انرژی از جریان هوا کشیده می‌شود نتیجه حاصله سردتر و هرچه بیشتر مرطوب شدن هوا است.

شکل رطوبتی (شکل ۴) برای کاوشهای نظری و محدودیتهای عملی در جهت خنک‌سازی تبخیری مفید است. به طور نظری حداقل دمائی که می‌تواند بوسیله اضافه شدن آب به هوا بدست آید برابر است با محدودهٔ دمائی حباب تر.



شکل(۴)

در عمل این سطح از خنک‌کاری مشکل بدست خواهد آمد. فهمیدن و درک افت واقعی دما تابعی است جهت طراحی تجهیزات و وضعیت اتمسفری- دیگر عوامل ثابت هستند. تأثیر یک سیستم خنک‌سازی تبخیری

به سطح محیط روباز آب که در جریان هوا است و مدت ماندگای آب وابسته است. تأثیر خنک‌کننده یا سردساز تابعی است از طراحی و به شکل زیر تعریف شده است:

اثر سرد ساز $= T_{IDB} - T_{۲}$

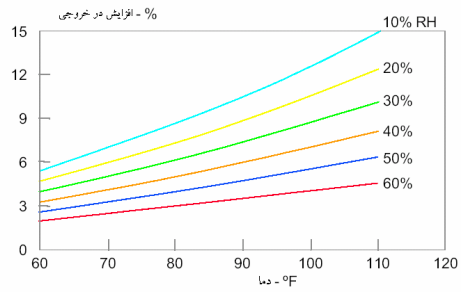
$= T_{IDB} - T_{۲WB}$ معمولاً سطح اثربخشی بین ٪۸۵ تا ٪۹۵ است. فرض می‌کنیم که اثر بخشی ٪۸۵ است افت دما توسط معادله زیر محاسبه می‌شود:

افت دما $= ۰٫۸۵ (T_{IDB} - T_{۲WB})$

برای مثال فرض می‌کنیم که محدودهٔ دما ۱۰۰^F ($۳۲٫۸^C$) و نسبت رطوبت ٪۳۲ است با مراجعه به شکل ۴ که ساده شده منحنی رطوبتی است مطابق با دمای حباب تر F ۷۲ است.

پس افت دمای هوا بوسیله کولر برابر است با ۰٫۸۵ یا ۲۱^F ($۱۱٫۷^C$) (دمای ورودی کمپرسور برابر است با (۲۶^C ۷۹^F).

تأثیر کولرهای تبخیری معمولاً ٪۸۵ و سیستمهای مه‌پاشی کمی بیشتر از ۹۰ تا٪۹۵می‌باشند. افزایش صحیح در قدرت موجود یک توربین گاز بخصوص، در نتیجه خنک‌کاری هوا همانطور که به مدل ماشین و ارتفاع از سطح دریا وابسته است به همان میزان به محدودهٔ دما و رطوبت نیز وابستگی دارد. بنابراین اطلاعات نمایش داده شده در شکل ۵ در استفاده از برآورد این مزیت جهت کولرهای تبخیری به کار می‌رود بعنوان مثال بعد از این بیشترین بهبود در هوای گرم و خشک پیش‌بینی می‌شود.



شکل ۵: اثر خنک کننده تبخیری در خروجی موجود
٪85 - موثر

کولرهای تبخیری از نوع کند و شکل نمناک

کولرهای تبخیری از نوع پوشالی (مدیا) مرسوم از یک شئی واسط شبیه به کندو عسل و نمناک جهت خنکاری و به حداکثر رساندن سطح بخار استفاده می‌کنند. برای توربینهای گازی ضخامت این واسط ۱۲ و بالاتر است و تمام کانال محل عبور هوا یا فیلتر داخلی را می‌پوشاند. مدیا و قطره‌گیر باعث کاهش فشار هوا در کانال ورودی هوا می‌شود.این مقادیر معمولاً به طور تقریبی یک اینچ از ستون هوا هستند.

افزایش افت فشار ورودی باعث کاهش خروجی و راندمان دستگاه در دو محدودهٔ دمائی و بار حتی زمانیکه سیستم خاموش است می‌شود نتیجه کاهش بار اصلی به میزان ٪۰٫۳۵ در توربین گاز و ٪۰٫۳ در خروجی سیکل ترکیبی است. اثر فوق در خروجی سیکل ترکیبی کمتر است. بدلیل اینکه کاهش جریان هوای توربین گازی تأثیر

متقابل اندکی مطابق با افزایش کم دمای خروجی توربین گاز دارد متوسط افزایش مقدار گرما ٪۰٫۲ و ٪۰٫۰۴ برای توربین گازی و نیز سیکل ترکیبی است. تجهیز تأسیسات بهبودی بخش نیازمند تغییرات اساسی در کانالهاست. اثربخشی سیستم بوسیله مجموعه مدیا بهتر می‌شود بطوریکه در صورت روشن یا خاموش بودن سیستم دمای ورودی هوا کنترل نمی‌شود.

البته نتیجه همیشه به این شکل نیست چرا که دلخواه کاربر داشتن حداکثر مقدار خروجی از ماشین یا دستگاه است .طرحی از.یک فیلتر کولر تبخیری خود

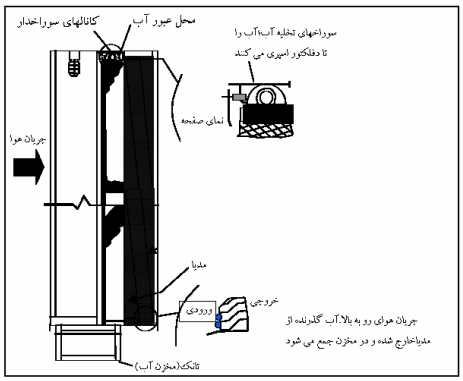
پاک شونده در شکل۶نشان داده شده است.

آب از کف تانک پمپ شده، رو به بالا حرکت کرده و از آنجا بروی پوشالهای مدیا پخش می‌شود. این پوشالها از لایه‌های موجدار و مواد الیافی شکل با کانالهای داخلی شکل داده شده بین لایه‌ها ساخته شده‌اند.

دو دسته کانال یکی پس از دیگری در مدیا نصب شده است که یکی برای هوا و دیگری برای آب است. این جداسازی جریان راهی است برای کاهش آبهای انتقالی.

آب از بالا بوسیله کانالهای تعبیه شده سوراخدار (Manifold) بروی پوشالها ریخته و به سمت پائین جریان پیدا می‌کند آب مازاد بداخل تانک برمی‌گردد. سطح آب داخل تانک بوسیله فلوسوئیچ محدود می‌گردد که در صورت نیاز آب اضافه خواهد شد.

کنترلری حداقل دمای خنک را تنظیم می‌کند این دما بایستی $۶.^{F}$ ($۱۵٫۶^{C}$) یا بالاتر باشد اگر تبخیر باعث شود که دما خیلی پائین بیاید یخ‌زدگی سیستم را شاهد خواهیم بود. وقتی که احتمال هوا ی سرد زیر صفر (موجب یخ‌زدگی) داده شود در این هنگام سیستم غیرفعال شده و جهت جلوگیری از آسیب‌دیدگی تانک و لوله‌ها، آب تخلیه می‌گردد و احتمال مسدودشدن خلل و فرج مدیا با یخ وجود دارد.



شکل۶: طرح خنک کننده مدیا

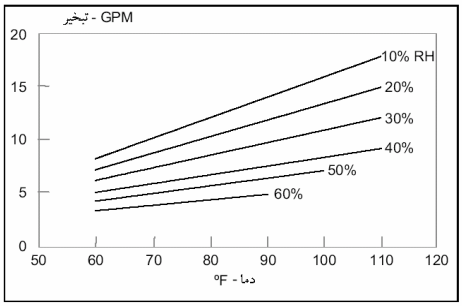
نیاز کولرهای تبخیری به آب

کولرهای تبخیری بیشتر در مناطق خشک که آب آنجا ممکن است مزایای مهم یک محلول خالص را داشته باشد مؤثر است. اگر آب اضافه شده به تانک فقط جهت جایگزینی آب از دست رفته بواسطه بخار باشد بتدریج تانک مملو از رسوبات و کانیها خواهد شد. (البته آب از کف مخزن به سوی پوشالها پمپ می‌شود)

این رسوبات در کف مخزن و روی پوشالها نشست کرده باعث کاهش کارائی سیستم می‌گردند. این موضوع خطر وارد شدن بعضی از رسوبات با هوا را بداخل توربین گاز افزایش می‌دهند جهت حداقل شدن این خطر آب تانک بطور مداوم برای رقیق شدن رسوبات تعویض می‌شود.

مقدار آب جبرانی که بایستی تأمین شود تلفیقی از آب تبخیر شده و آب خارج شده است. مقدار آب تبخیری از یک کولر به دما و رطوبت، ارتفاع از سطح دریا، اثر بخشی کولر و نیاز توربین گاز به مقدار رنج جریان هوا بستگی دارد. شکل ۷ نیاز آب تبخیری را در سطح دریا برای توربین گاز (B) / M ۵۶۰۰ با راندمان ٪۸۵ نشان می‌دهد. با توجه به این مقدار برای ماشین‌های MS ۹۰۰۱ یا MS ۷۰۰۱ بترتیب دو یا سه برابر مقدار نشان داده شده تخمین زده شده است. یکی از روابط اصلی در تعیین کیفیت آب قابل قبول بدست آوردن مقیاس است.

مقیاس‌گذاری مطابق با واکنش سختی آب، خواص قلیائی آب، محلول خالص، PH و دمای آب مؤثر است. برای تعیین اینکه آیا آب برای کولرهای تبخیری مناسب است یا خیر معمولاً یک شاخص اشباع به کار می‌رود. در تحلیل آزمایشگاههای استاندارد آب، سختی ($ppm\ as\ caco^{۳}$) ، خواص قلیائی ($ppm\ as\ caco^{۳}$) و محلول خالص PH (ppm) می‌تواند تعیین شود. سطوح سه جز اول ابتدا بوسیله یک عامل (ضریب) تنظیم W تعریف شده‌اند.



شکل۷: نرخ تبخیر برای (MS6001(B -85% موثر

$$W = (۱/B + ۱)(۱/F + ۱)$$

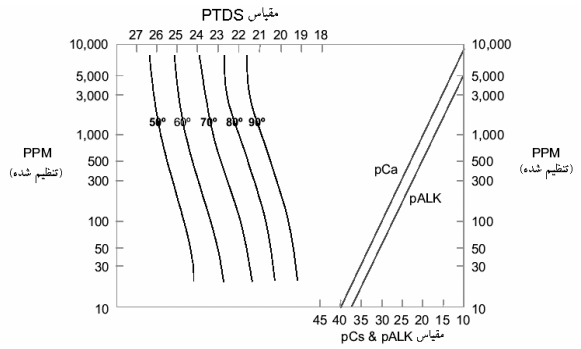
F= مقدار آب تبخیرشده / مقدار آب تخلیه‌شده از پوشال به تانک = ضریب فوران

B = مقدار آب تبخیری / مقدار آب خارج شده از تانک = ضریب خروج

مقدار آب تبخیری با استفاده از اطلاعات شکل ۷ برآورد خواهد شد. در بیشتر موارد F,B در خلال نصب تنظیم می‌شوند. بطوریکه در یک روز گرم و معمولی W=۵۴ بشود. بنابراین برای بالابردن کیفیت آب، افزایش نرخ آب خروجی برای کاهش ضریب تنظیم به کار گرفته می‌شود. ضریب فوران نبایستی جهت جبران سازی کیفیت آب استفاده شود بدلیل اینکه آن در انتقال آب نتیجه خواهد شد.

ppm با TDS , ALK و سختی ضرب می‌شوند مطابق با ضریب تنظیم شده برای بدست آوردن ppm جهت ارزیابی تناسب آب برای کولرهای تبخیری یک شاخص اشباع Langelire تعیین شده است شکل ۸ خواص قلیائی

تنظیم شده (ppm as caco ۳) به PALK تبدیل می‌شود و سختی تنظیم شده به PCA تبدیل می‌شود بوسیله وارد کردن عرض دست راست بروی چارت و خواندن مقدار صحیح از طول دست راست. محلول خالص به PTDS تبدیل می‌شود مطابق با وارد شدن عرض سمت چپ، انتخاب دمای آب مناسب و خواندن عرض محور چپ بالا (که دمای نمناک را) به خود می‌گیرد.



شکل۸: نمودار شاخص اشباع لانژولیه

- *شاخص اشباع*

اگر si<۱ (شاخص اشباع)باشد

دیگر هیچ رفتار قابل قبولی از اب نمیتوان انتظار داشت.

آب جهت کنترل خواصی استفاده می‌شود که SI را به یک یا کمتر از یک کاهش دهد. اولاً مقدار آب کشیده شده (طلب‌شده) در یک روز گرم معمولی برابر است با مقدار آب بخار شده. بعداً ممکن است این مقوله براساس تجربه عملی و کیفیت آب محلی تنظیم شود- حتی اگر در کیفیت آب مراقبت کامل صورت گیرد سرانجام پوشالها بایستی تعویض شوند همانطور که مواد کارائی و اثربخشی خود را بواسطهٔ زیان دیدن به مرور زمان از دست می‌دهند.

بنابراین تجربه در این زمینه نیازمند زمان نسبتاً طولانی است.در مناطقی که کار شش فصل با وضعیت نامناسب داشته باشد طبیعی است که کارائی کاهش پیدا خواهد کرد. کارکرد مداوم مدیا حداقل بیش از دوسال قابل قبول می‌باشد. وقتی که این عقیده عمومی بشود برآورد کردن قیمت تغییر می‌کند. همچنانکه تجربیاتی نیز در این زمینه حاصل شده است.

آزمایشات نشان داده‌اند که تزریق آب می‌تواند سطح بالائی از سدیم و پتاسیم ،بدون اثرات بعدی مهم روی توربین گاز داشته باشد بنابراین توجه و دقت زیاد به جزئیات برای درک سطح کارائی لازم است. آن جزئیات عبارتند از:

آشنائی صحیح با خواص مدیا، جریان صحیح هوا و آب، توزیع هماهنگ آب در سطح پوشالها و برگشت صحیح فاضلاب به مخزن. هرگونه نقص در محیطهای یاد شده باعث خواهد شد تا آب به داخل هوا کشیده شده و خطرات جدی را فراهم آورد.

بهمین ترتیب نگهداری و نصب تجهیزات کولرهای تبخیری خیلی مهم است .در نواحی که آب آنجا دارای سدیم و پتاسیم بیش از ppm ۱۳۳ می‌باشد بهترین عمل جهت آزمایش نوبتی مقدار این عناصر داخل توربین گاز ، برآورد میزان جرم آنهاست. هراختلافی بین مقدار سدیم و پتاسیم داخلی آب تغذیه کننده و مقداراولیه آنهاحاکی از آنست که آب حاوی املاح به درون توربین نفوذ کرده است. تمرکز این عناصر در هوای ورودی بایستی به طور معمول بین ppm ۰,۰۰۵ -۰ یا کمترنگه داشته شود.

برای مثال این مقدار معادل است با مقدار سوخت $^{Lb}/_{h}$ ۰,۰۱ در یک توربین گاز MS ۷۰۰۱. هنگامیکه کولرهای از نوع مدیا برای اولین بار در جایگاه سرویس قرار گرفتند بعضی از قطعات به طورغیر قابل قبولی آسیب دیده بودند. این مسئله سه دلیل می‌توانست داشته باشد: ۱-آسیب‌دیدگی یا عدم نصب صحیح پوشال.۲-کشیده شدن آب

از منافذ توزیع با سرعت خیلی زیاد توسط پوشالها مشکل اول با استفاده از روشهای جدید فروش پوشال و نصب مرتفع گردید- اثرات منافذ (manifold) نیز بواسطه نصب ورقهای مشبک در پائین محل ریزش آب حل شد. مسئله سوم سرعت زیاد عبور جریان هوا از قسمتهای پوشال بود که حل آن خیلی مشکل می‌نمود. پس از تلاش شبانه‌روزی دو راه‌حل برای مرتفع شدن معزلات بدست‌آمد. روش اول ترکیب اشکال طراحی برای تحمیل کردن فلو هماهنگ بیشتر به طوری که سرعت در همهٔ نقاط در محدودهٔ قابل قبولی قرار بگیرد.

Foggers – (مه پاشها) –

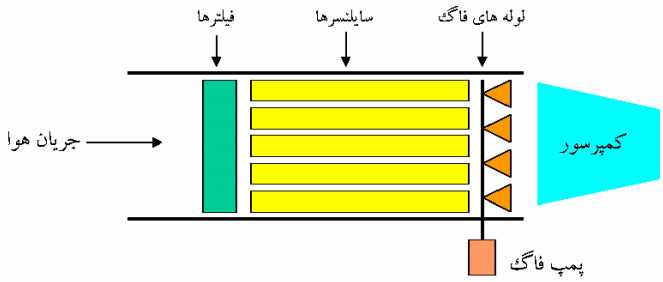
در اواسط سدهٔ ۱۹۸۰ مه‌پاشها برای اولین بار جهت خنک‌سازی هوای ورودی توربین گاز به کار گرفته شدند. قریب به ۱۰۰ سیستم مه‌پاش در آمریکای شمالی بروی توربینها نصب شده است. سیستمهای مه‌پاش بوسیله پودر کردن آب و تولید قطرات بینهایت سطح زیادی از بخار را تولید می‌کنند. قطر قطرات آب نقش مهمی را در رابطه با سطح آبی که در معرض جریان هوا قرار می‌گیرد، و در نتیجه سرعت بخار شدن بازی می‌کند. به طور نمونه حاصل قطرات ده‌میکرونی به پودر تبدیل شده آب ده‌برابر قطرات پودری ۱۰۰ میکرونی با همان حجم می‌باشد.

جهت خنک‌کاری تبخیری یا مرطوب سازی با پودر کردن آب مهم اینست که مه(fog)به معنی واقعی کلمه تولید شود نه هر مهی. برای یک هواشناس وقتی قطرات آب کمتر از ۴۰ میکرون در قطر باشند یک(fog) بدست آمده است در حالیکه سایز قطرات بیش از این باشد آنها را مه می‌نامند.

فاگهای حقیقی بدلیل جنبش زیاد در پرواز می‌مانند. تصادف اتفاقی مولکولهای هوا بتدریج قطرات (فاگ) را نزول می‌دهد. در صورتیکه مه‌ها به طور نسبتاً سریعی نزول می‌کنند.

برای مثال در تقطیر هوا قطرات ده‌میکرونی در محدودهٔ تقریباً یک متری در ۵ دقیقه و قطرات ۱۰۰ میکرونی در محدودهٔ یک متری در عرض ۳ ثانیه به زمین می‌افتند.

نازلهای فاگر (شکل ۹) بایستی در قسمت پائین فیلترهای ورودی هوا نصب شوند تعیین اینکه آیا نازلها بایست در قسمت پائین نصب شوند یا بالا بستگی به زمان بخار شدن کامل آب تا رسیدن هوای مرطوب به قسمت بعدی نصب شده سیستم دارد..



شکل ۹:سیستم فاگ

مقداری آب در کف کانال ورودی جمع خواهد شد برای جلوگیری از جمع شدن آب در کانال ورودی احتیاج به یک خط تخلیه‌ای که در قسمت پائین نازلها نصب شود وجود دارد در طراحی یک سیستم فاگ بخصوص، بایستی نسبت به سوراخهای نازل و نازلهای فاگ جهت جلوگیری از شکسته‌شدن قسمتهای ریز و بلعیده شدن توسط توربین توجه ویژه داشت. لرزش ناشی شده از جریان هوا از منافذ بایست به خوبی مورد ملاحظه قرار بگیرد اگر منافذ به طور صحیح طراحی نشده باشند یا اگر آنها خوب حمایت نشوند سرانجام لرزش باعث خرابی ساختار منافذ یا پایه آن می‌گردد.

جهت حداقل کردن رسوبات کمپرسور و گرفتگی نازل‌ها، از آب تصفیه‌شده در سیستمهای fog پرفشار استفاده می‌شود نیاز به آب همان مسئله‌ایست که در سیستمهای با تزریق آب در توربین گاز داشتیم. گزارشاتی مبنی بر رسوبات کمپرسور و گرفتگی نازلها فقط از مناطقی بوده است که یا از آب تصفیه‌شده استفاده نکرده‌اند و یا از سیستم آب مناسب بهره‌مند نبوده‌اند. برای بهره‌گیری از استیل ضدزنگ با کیفیت بالا لازمست که آب تصفیه‌شده جهت همه قسمتهای نمناک شده استفاده شود. معمولاً منافذ نازل لوله‌ای به قطر ۰٫۵^{inch} دارند که کنار هم ۱۲ تا ۸

اینچ فضا را اشغال می‌کنند به جهت اینکه شبکه گازی لوله‌های کوچک مانع از عبور جریان هوا نمی‌شود افت فشار نازل فاگ ناچیز است. چند روش مختلف برای پودرکردن آب به کار می‌رود. بعضی سیستمها از کمپرسور هوای توربین گاز برای پودرکردن آب استفاده می‌کنند. دیگر سیستمها آب را بوسیله پمپهای فشار بالا تحت فشار قرار می‌دهند که آب از درون روزنهٔ ریزی خارج می‌شود. نازلهای پودرکنندهٔ هوا نیاز به فشار آب کمتری دارند اما تولید خروجی کمتری را هم بدست می‌دهند به دلیل خروج هوا از توربین گاز و گرمای ورودی از کمپرسور هوا .

معمولاً نسبت هوا به آب ۰٫۶ تا ۱ مطابق با جرم است (۱ تا ۵۰۰ مطابق با حجم) نیروی بعضی از پمپهای پرفشار باعث چرخش آب و خردشدن قطرات آب می‌گردد. دیگر نیروها نیز باعث اصابت آب با پین می‌شود که همان اثر را دارد. در سیستمهائی که آب را بصورت پودر درمی‌آورند سایز قطرات با جذر مربع فشار نسبت معکوس دارد. کوچکتر شدن قطرات در حدود ۳۰٪ باعث دوبرابر شدن فشار عملیاتی خواهد شد. فشار عملیاتی برای پمپهای پرفشار سیستمهای فاگ بین psi ۳۰۰۰ -۱۰۰۰ است. یک سیستم فاگ معمولی شامل مجموعه‌ای از پمپهای پرفشار، سیستم کنترل و آرایش لوله‌های حاوی نازلهای فاگ می‌باشد.

به این ترتیب هر پمپ و مجموعه نازلها به طور مجزا نماینده یک درجه از خنک‌کاری fog هستند پس پمپها به ترتیب روشن می‌شوند در صورتیکه خنک‌کاری بیشتری مورد نیاز باشد برای مثال با در دست داشتن چهار پمپ و افت فشاری معادل با ۲۰^F هر بخش ۵^P می‌تواند مدیریت شود (یعنی هر ۵^F یک پمپ وارد مدار می‌شود)

توزیع نازلهای فاگ به طور یکنواخت در هر مرحله برای گذر از کانال بطوریکه شیب دما به حداقل برسد حائز اهمیت است. دقت در کنترل سیستم مه‌پاش یا فاگر نیاز به جلوگیری از رسیدن آب به کمپرسور دارد.

در کارخانه‌های موجود بایستی ظرفیت دسترسی به آب تصفیه شده و ذخیره آن تسهیل گردد تا در هنگام نیاز و تعریف پروژه‌های افزایش مصرف با مشکلی روبرو نشود.

در ادامه تعدادی از مزایا و معایب دو روش عمده خنک‌کاری آورده شده است.

۱-خنک‌کاری با استفاده از روش مدیا یا پوشال.

-مزایا

الف)نیاز به آبی به کیفیت کمتر نسبت به سیستم فاگ

ب)ساده و قابل اطمینان

ج)پرکاربرد.

-معایب

الف)نیاز به اصلاح اساسی مجراها و کانالها به طور مکرر.

ب)افت فشار بیشتر توربین گاز نسبت به سیستم فاگ که باعث کاهش کارائی در زمان خاموشی سیستم می‌شود.

ج)اثر خنکاری کمتر.

_ روش مه‌پاشی

-مزایا

الف)فشار ورودی توربین گاز نسبت به خنک‌کاری پوشالی کمتر افت می‌کند و خروجی بیشتری را فراهم می‌آورد.

ب)پتانسیل اثربخشی بیشتر نسبت به خنک‌کاری پوشالی.

ج)هزینه کمتر و نصب سریعتر که باعث کمتر شدن اصلاح کانالها نسبت به خنک‌کاری پوشالی می‌شود.

-معایب

الف)نیاز به آب تصفیه شده

ب)حادث شدن پارازیتهای بیشتر نسبت به تبخیر پوشالی بخاطر پمپهای پرفشار سیستم.

ج)افزایش کمتر خروجی در سیستمهای پودری هوا.

د)کنترل پیچیده‌تر.

خنک سازی تبخیری

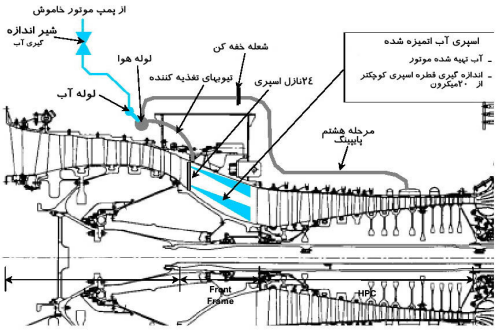
خنک سازی با تبخیر که سرما افشانی یا سرمایش نیز نامیده می‌شود، می‌تواند با تزریق عمدی مه به جریان هوای ورودی که بیشتر از مقداری است که می‌تواند در شرایط معین آب و هوایی محیط تبخیر شود، صورت پذیرد. جریان هوا قطره‌های تبخیر نشده مه را به قسمت کمپرسور منتقل می‌کند. دماهای بالاتر در کمپرسور، ظرفیت رطوبت پذیری هوا را افزایش می‌دهد. بنابراین قطره‌های مه که در مسیر هوای ورودی تبخیر نشده‌اند، در کمپرسور تبخیر می‌شوند. زمانیکه مه تبخیر می‌شود، سرد شده و هوا را چگالتر می‌کند. این موضوع افزایش حجم کلی جریان هوای عبوری از درون توربین گازی و کاهش کار نسبی تراکم را در پی دارد که باعث افزایش توان مضاعفی می‌شود. خنک سازی مه باعث می‌شود که عملگرهای توربین، توان های تقویتی بدست بیاورند که از توان قابل حصول بوسیله سیستم خنک کننده تبخیری رایج، بیشتر است.

حدود خنک کنندگی به طور کامل بررسی نشده ولی مزایای ذکر شده برای آن قابل توجه است. از لحاظ تئوری، می توان با تزریق مه کافی، توانی به بزرگی توان بدست آمده از سرد کردن هوای ورودی تا زیر دمای حباب خیس و با هزینه‌ای جزئی بدست آورد. این موضوع هنوز مشاهده نشده‌است. یک ایراد محتمل به خنک سازی وارد است: اگر قطرات آب خیلی بزرگ باشند، احتمال ساییدگی پره‌های کمپرسور در تماس با مایع وجود دارد. بمباران سطح یک فلز با قطرات آب ممکن است به توسعه خراشهای ریز در سطح فلز منجر شده و باعث تخلخل سطح شود.

خنک سازی می‌تواند از طریق مه افشانی آب اتمیزه شده بین قسمتهای کمپرسور توربین های گاز، که کمپرسورهای فشار بالا و فشار پایین دارند، صورت پذیرد. سیستم GE LM۶۰۰۰ SPRINT نمونه‌ای از چنین سیستمی‌است.

آب از طریق ۲۴ لوله‌ای که بین کمپرسورهای پرفشار و کم فشار روی LM۶۰۰۰ دو محور قرار دارند،تزریق می‌شود. (شکل ۱۰)

با استفاده از هوای پر فشار که از مرحله هشتم سوختن بدست آمده، آب به صورت قطره هایی با قطر کمتر از ۲۰ میکرون پاشیده می‌شود. تزریق آب دمای خروجی کمپرسور را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد و این امر موجب می‌شود تا توربین در حد کنترل طبیعی که با دمای احتراق در ارتباط است کار کند نه در محدوده دمای خروجی کمپرسور. نتیجه خروجی بیشتر و بازده بهتراست. افزایش خروجی تا بیش از ۲۰٪ و بازده تا ۳/۹٪ در ۹۰°F(۳۲°C) روزها قابل حصول است. LM۶۰۰۰ در مقایسه با برخی از ماشینهای فریم دار، نسبت افت – نسبتی که در آن خروجی با افزایش دمای هوا کاسته می‌شود– تندتری دارد. بنابراین LM۶۰۰۰ معمولا در تکنولوژی چیلر بکار رفته است.



شکل ۱۰- دیاگرام سیستم LM٦٠٠٠PC SPRINT

تکنولوژی اسپرینت این اجازه را به اپراتور می‌دهد تا بخش اعظم توان تلف شده در روزهای گرم را بدون متحمل شدن بودجه و هزینه های عملیاتی چیلرها بازیابی کند. کیت های بهبود یافته اسپرینت برای ماشینهای LM۶۰۰۰ موجود، در دسترس است. تحقیقاتی در جریان است تا راهی برای استفاده از سرمایش افشانه ای در بخش کمپرسور کم فشار LM۶۰۰۰ پیدا شود. قبل از اینکه بتوان از خنک سازی تبخیری استفاده کرد، محدوده‌های ماکزیمم بار

توربین گازی ترکیبی و الگوریتهای کنترل جهت کسب اطمینان از عدم تجاوز از محدوده طراحی شده، باید به دقت بازبینی شود. بررسی مشابهی نیز باید در مورد ژنراتور، توربین بخار و سیستمهای کمکی صورت پذیرد.

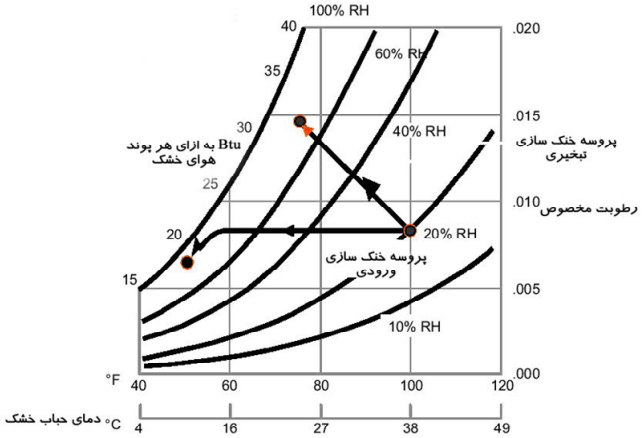
خنک کردن ورودی

سیستمهای خنک سازی ورودی شامل دو دسته چیلرهای مستقیم و ذخیره حرارتی می‌باشند. سیستمهای گاز مایع شده طبیعی (LNG) از منبع سوخت بهره برده و از اثر خنک کنندگی که با تبخیر گاز مایع در ارتباط است استفاده می‌کنند. سیستم های ذخیره حرارتی از دوره های قطع پیک توان جهت انباشتن انرژی گرمایی به صورت یخ جهت خنک سازی ورودی در طی پریودهای تقاضای پیک توان استفاده می‌نمایند. سیستمهای خنک سازی مستقیم از خنک سازی مکانیکی یا جذبی استفاده می کنند. تمامی این روشها برای نیروگاه‌های جدید و بهبود نیروگاه کاندید هستند. همانند سرمایش تبخیری ، کاهش حقیقی دما از حلقه سرمایش، تابعی از طراحی تجهیزات و شرایط محیط است. بر خلاف کولرهای تبخیری, حلقه‌های سرمایشی قادرند که دمای حباب خشک ورودی را پایین تر از دمای حباب نمناک محیط بیاورند. کاهش حقیقی دما فقط توسط ظرفیت وسیله خنک کننده، کارایی حلقه ها و حد قابل قبول دما/ رطوبت کمپرسور، محدود می‌شود. شکل ۱۱ چرخه سرمایش معمولی مبتنی بر دمای ۱۰۰°F(۳۷/۸°C) حباب خشک محیط و ۲۰ ٪ رطوبت نسبی را نشان می‌دهد. سرمایش اولیه از یک نسبت ثابت رطوبت پیروی می کند.

زمانیکه هوا رو به اشباع می‌رود، رطوبت شروع به تراکم و خروج از هوا می‌کند. اگر هوا خنک تر شود، رطوبت بیشتری به مایع تبدیل می‌شود. هنگامیکه دما به این حالت نزدیک می‌شود، گرمای بیشترو بیشتری از هوا گرفته شده که جهت متراکم کردن آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. این امر ظرفیت کاهش دما را کم می‌کند. به دلیل امکان تراکم آب، مهارکننده‌هایی باید در چرخه ها قرار داده شود تا از فرو بردن آب زیادی بوسیله توربین های گاز جلوگیری به عمل آید. نقطه دقیقی که در آن سرمایش بیشتر دیگر میسر نیست، به خروجی مطلوب توربین گاز و

ظرفیت سیستمهای خنک کننده بستگی دارد. در نمودار شکل ۱۱ به وضوح دیده می‌شود که هوا می‌تواند پایین تر از دمای حباب مربوط به محیط خنک شود.

در اینجا یکی از مزایای مهم سیستم چرخه سرمایشی نهفته است. گرچه باید اشاره کرد که حد پایین عمل خنک کننده، دمای (۷/۲°C)۴۵°F ورودی کمپرسور با رطوبت نسبی ۹۵٪ است. در دماهای پایین تر از (۷/۲°C)۴۵°F با چنین رطوبت نسبی بالایی، یخ زدگی کمپرسور و خطر خرابی قطعات وجود دارد.



روشهای سرمایش ورودی

سرمایش مستقیم

سرمایش مستقیم ، سرمایی فوری برای افزایش ظرفیت ارائه می کند. بخشی از توان خروجی برای راه اندازی سیستم به کار می‌رود. سیستم‌های سرمایش مستقیم بر اساس همان اصولی عمل می‌کنند که فرایند های صنعتی سرد و سیستمهایHVAC در ساختمان های بزرگ درسالیان متمادی داشته‌اند. چیلرهای مکانیکی بزرگ که با برق کار می‌کنند ممکن است در مبدل‌های گرما (حلقه‌های سرمایش) در ورودی توربین های گاز مورداستفاده قرار گیرند. این مبدلهای گرما تقریبا یک اینچ آب به افت افشار ورودی اضافه می‌کنند. اگر گرمای اضافی قابل دسترسی باشد،چیلرهای جذبی که از گرما به عنوان منبع انرژی استفاده می‌کنند، جایگزین خوبی هستند. این چیلرها معمولا

بیشتر از چیلرهای مکانیکی با همان ظرفیت هزینه دارد ولی هنگام کارکردن سربارهای کمتری دارند. دمای هوای ورودی توربین گاز بسته به نقطه شبنم هوای محیط، گرمای اضافی موجود و سایز چیلرها ، می‌تواند به ۴۵ تا ۵۰°F(۱۰°C تا ۷/۲) کاهش یابد. چیلرهای مکانیکی مقدار زیادی توان مصرف می‌کنند، بطوریکه گین خالص آنها کمتر از یک سیستم جذبی است. سرماساز چیلر نیاز به خنک شدن دارد. چیلرهای آب سرد نیازبه یک برج خنک کننده دارند. چیلرهای مکانیکی را هم می‌توان با هوا خنک کرد، در حالیکه چیلرهای جذبی فقط به صورت مدلهای آب سرد موجود است. برای انجام سرمایش مستقیم چند روش وجود دارد. این روشها به دو نوع اصلی تقسیم می شوند:انبساط مستقیم و سیستم‌های آب سرد.

سیستمهای انبساط مستقیم از یک سرما ساز به طور مستقیم در چرخه خنک کننده استفاده می‌کنند که در مسیر هوای ورودی قرار دارد. سیستم‌های آب سرد از یک سیال گرم کننده ثانویه در بین سرما ساز و هوای ورودی توربین استفاده می‌کنند. این سیال معمولا آب یا مخلوط آب و گلیکول است. به عنوان مثال خنک کردن هوای ورودی در یک واحد GE ۷FA از (۳۵°C)۹۵°F حباب خشک، (۲۵°C)۷۷°F حباب مرطوب تا (۷/۲°C)۴۵°F تقریبا به ۷/۴T/h سرما سازی نیاز دارد که افزایش هزینه ای معادل ۲۴/۱ مگاوات خروجی برق توربین گاز با قیمت تقریبی ۲۴۰ دلار برای هر کیلو وات را در بر دارد. با این حال باید توجه داشت که این سیستم فقط در روزهای گرمتر باتمام ظرفیت کار می‌کند و از صرفه آن با کاهش دمای محیط کاسته می‌شود. همچنین این سیستم ظرفیت توان خروجی را در روزهای سرد به علت افزایش افت فشار ورودی توربین گاز کاهش می‌دهد.

ذخیره انرژی گرمایی قطع پیک

وقتی بهای بیشتری در طول ساعات پیک مصرف روز برای انرژی پرداخت شود، ذخیره انرژی گرمایی در زمان قطع پیک شاید جواب دهد. در طول ساعات قطع پیک و آخر هفته‌ها، یخ یا آب سرد با استفاده از چیلرهای مکانیکی

تولید و در تانکهای بزرگی ذخیره می‌شود. افزایش ظرفیت فقط برای چند ساعت در روز ممکن است. در طی دوره‌های تقاضای پیک توان، از آب سرد یا آب حاصل از ذوب یخ برای خنک کردن هوای ورودی توربین گاز استفاه می‌شود. این سیستم قادر است دمای هوای ورودی تورین گاز را به ۶۰°F تا ۵۰ کاهش دهد. هر چند فضای زیادی برای ذخیره یخ یا آب سرد لازم است.

مقایسه سرمایش مستقیم و ذخیره انرژی گرمایی

سرمایش مستقیم

مزایا:

- تامین هوای سرد در طول ۲۴ ساعت شبانه روز
- ساده و قابل اعتماد است.
- عدم نیاز به توان سربار در قطع پیک
- کارآمدی بالا

معایب :

- انرژی سربار بیشتری در اوج مصرف نیاز دارد.
- هزینه را افزایش می‌دهد زیرا تجهیزات سرماسازی به اندازه پیک بار است.

ذخیره انرژی گرمایی:

مزایا:

- توان سرباری کمتری در زمان پیک نیاز دارد.
- در پیک هایی که کمتر از ۸ ساعت طول بکشد نسبت به خنک سازی مستقیم ، هزینه کمتری در بر دارد.

معایب:

- نیاز به توان قطع پیک بیشتر

- در پیک هایی که بیشتر از ۸ ساعت به طول بینجامد نسبت به خنک سازی مستقیم، هزینه بیشتری دارد.

- سیستم پیچیده تری نسبت به سرمایش مستقیم دارد.

- هوای سرد فقط در بخشی از شبانه روز موجود است.

تبخیر کننده های گازی LNG/LPG

هرگاه از LNG یا گازهای نفت مایع (LPG) استفاه شود، این سوختها قبل از استفاده در توربین گاز باید تبخیر شوند. آنها معمولا در دمایی حول و حوش (۵،°F)۱۰،°C به سیستم سوخت توربین گاز وارد می‌شوند. از هوای ورودی توربین گاز می‌توان جهت تبخیر بیشتر سوخت و گرم کردن آن استفاده کرد. از یک سیال واسط مثل گلیکول استفاده می‌شود. هوای ورودی توربین گاز گلیکول را گرم کرده و خودش در این فرایند سرد می‌شود. گلیکول سوخت را گرم می کند. کاهش (۵/۶°C)۱۰،°F دمای هوای ورودی دراین سیستم معمول است. از آنجا که سوخت بایدبه هر طریقی تبخیر شود، سرد کردن هوای ورودی راهی برای تبدیل بخش اعظم انرژی به توان قابل استفاده است.

افزایش توان

سه شیوه اصلی جهت افزایش توان وجود دارد: تزریق آب یا بخار، احتراق مکمل HRSG و اوج احتراق

تزریق آب/ بخار توربین گاز

تزریق بخار یا آب به انتهای محفظه احتراق جهت کاهش No_x ، حجم جریان و متعاقب آن خروجی را افزایش می‌دهد. معمولا مقدار آب محدود به مقدار مورد نیاز No_x است، تا هزینه عملیاتی را کاهش داده و روی دفعات بازدید موثر باشد.

تزریق بخار جهت افزایش توان برای بیشتر از ۳۰ سال استفاده شده است. هنگامیکه بخار برای افزایش توان تزریق می‌شود، می‌تواند در پوشش تخلیه توربین گاز و مخزن احتراق به کاررود. در عمل سیکل ترکیبی ، نسبت حرارتی سیکل با تزریق بخار یا آب افزایش می‌یابد. در تزریق آب این اصولا به دلیل استفاده از سوخت با درجه بالای انرژی جهت تبخیر و گرم کردن آب است. در تزریق بخار این اصولا به دلیل استفاده از انرژی سیکل جهت تولید بخار برای توربین گاز است که در غیر این صورت در توربین بخار می‌تواندااستفاده شود. عامل دوم این است که سیستمهای کنترل معمولی، دمای احتراق را به هنگام تزریق بخار یا آب کاهش می‌دهند. این مطلب اثر انتقال گرمای بیشتر را به دلیل بخار آب زیادی در سمت گاز خنثی کرده تا مسیر گاز داغ را خالی نگه دارد. توربین های گازی GE طوری طراحی شده‌اند که حداثر تا ۵ ٪ جریان هوای کمپرسور را برای تزریق بخار به محفظه احتراق یا تخلیه کمپرسور بکاربرد. مقدار تزریق بخار تابعی از توربین گاز و سیستم احتراق توربین گاز است. بخار باید حداقل حاوی (۵۰°F)۲۸°C گرمای نهان و فشاری معادل فشار سوخت گاز باشد. وقتی از بخار یا آب برای افزایش توان استفاده می‌شود، سیستم کنترل معمولا طوری طراحی می‌شود که فقط مقدار مورد نیاز No_x وارد شود تا زمانیکه ماشین به حداکثر بار خود برسد. در این لحظه بخار یا آب اضافی از طریق رگلاتور کنترل عبور داده می‌شود.

HRSG کامل سوز

از آنجا که توربین های گازی معمولا بخش کوچکی از اکسیژن موجود در جریان هوای توربین گاز را مصرف می‌کند، اکسیژن موجود در اگزور توربین گاز، احتراق کامل سوخت در داخل HRSG برای افزایش سرعت تولید بخار را نسبت به واحد غیر احتراقی ممکن می‌سازد. یک دستگاه کامل سوز به HRSG ای گفته می‌شود که متوسط دمای احتراق آن از (۹۸۲°C)۱۸۰۰°F فراتر نرود. از آنجا که گاز اگزوز توربین قبلا هوای احتراقی را داغ کرده، مصرف سوخت HRSG کامل سوز کمتر از مقدار مورد نیاز بویلر توان است که رشد فزاینده مشابهی به تولید بخار می‌دهد. سرعت فزاینده گرمای نیروگاه برای احتراق کامل معمولا در دامنه یک چرخه ساده توربین گازی است. یک HRSG غیر کامل سوز با شرایط بخار بیشتر اغلب با سطح فشار چند گانه طراحی می‌شود تا بیشترین انرژی ممکن را از اگزوز توربین بازیابی نماید. این به هزینه HRSG کامل سوز می‌افزاید ولی به دلیل چرخه‌ای بودن صرفه بیشتری دارد. در مورد HRSG کامل سوز اگر HRSG قرار است در بیشتر ساعات کارش تا رنج (۷۶۰-۹۸۲°C) ۱۸۰۰°F تا ۱۴۰۰ محترق شود، با دستگاهی با یک سطح فشار، توده دمای کمی‌بدست می‌آید. این نتیجه وظیفه صرفه جویی بیشتر آن در مقایسه با HRSG غیر احتراقی است. یک HRSG کامل سوز طرحی کاملاً مشابه یک HRSG غیر کامل سوز دارد. هر چند قابلیت احتراق، توانایی کنترل تولید بخار HRSG در حد ظرفیت سیستم برنز و مستقل از وضعیت کارکردی توربین گازی معمولی را ارائه می‌کند. HRSG های کامل سوز قابلیت کاربرد در دستگاه‌های جدید یا ضمایم سیکل ترکیبی را دارند. نصب سیستم های قبلی بر روی HRSG های موجود به دلیل نیاز به فضای مسیر احتراق و تغییرات مهم مواد، عملی نیست. عملکرد غیر احتراقی در مقایسه با عملکرد دستگاهی که بدون احتراق کامل طراحی شده، یک تفاوت عملکرد کوچک دارد بزرگی این تفاوت عملکرد بستگی به مقدار احتراق کامل در نیروگاه سیکل ترکیبی دارد. این تفاوت عملکرد به دلیل دو عامل است: عمل غیر احتراقی که منجر به جریان بخارکمتر و فشار کمتر و در نتیجه راندمان کمتر توربین بخار می‌شود، همچنین پمپ ها،

تجهیزات کمکی و ژنراتور برای بارهای بیشتر ساخته‌شده اند. کار کردن بدون احتراق این دستگاه ها در مقایسه با دستگاهی که فقط برای کار کرن بدون احتراق ساخته شده، نستبا سربار بیشتری دارد.

اوج احتراق

استفاده کنندگان برخی از مدلهای توربین گازی، توانایی افزایش دمای احتراق خود را تا بالای درجه اصلی دارند. این پدیده به اوج احتراق معروف است که خروجی سیکل ساده و سیکل ترکیبی را افزایش خواهد داد. ایراد این نوع کار کرد، دوره‌های بازدید کوتاهتر و نگهداری بیشتراست. برعکس ، کارکردن در دماهای اوج احتراق بالا در دوره‌های کوتاه، می‌تواند یک روش مقرون به صرفه برای افزایش کیلو وات بدون نیاز به تجهیزات فرعی اضافی باشد.

خلاصه افزایش خروجی

چندین شیوه و سیستم افزایش خروجی مورد بحث قرار گرفت. یک مقایسه بین تاثیرات اجرای هرشیوه بر مبنای یک روز با دمای (۹۰°F(۳۲/۲°C و RH ۳۰٪ بر عملکرد،درجدول شماره ۱ نشان داده شده است. قبل اعمال هر یک از این شیوه‌ها در یک نیروگاه موجود،توربین بخار و تناسب نیروگاه و ظرفیت ژنراتور باید بررسی شود تا اطمینان حاصل شود از حدود عملکرد تجاوز نمی‌شود. برای مثال، خروجی ژنراتور ممکن است به دلیل ظرفیت پایین خنک کنندگی محدود به روزهای گرم باشد.

تاثیر عمل توان

نوع افزایش توان	خروجی	نسبت حرارتی
شکل اصلی	پایه	پایه
خنک سازی تبخیری GT هوای ورودی (٪۸۵ موثر سرماساز)	٪۵/۲	——
خنک کردن GT هوای ورودی تا ۴۵^{oF}	٪۱۰/۷	٪۱/۶
پیک بار GT	٪۵/۲	٪۱/۰
تزریق بخار GT (٪۵ جریان هوای GT)	٪۳/۴	٪۴/۲
تزریق آب GT	٪۵/۹	٪۴/۸
احتراق کامل HRSG	٪۲۸	٪۹/۰

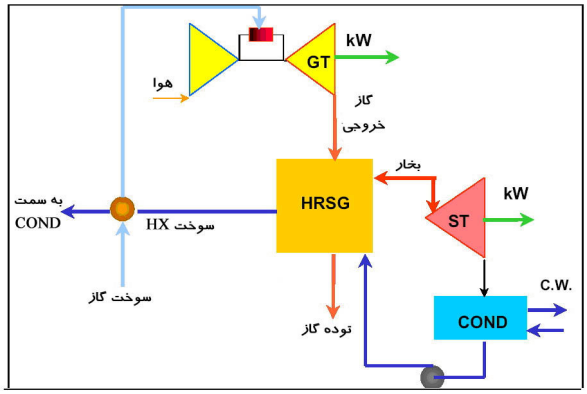
جدول ۱- روشهای افزایش توان سیستم STAG

ارتقاء کارآیی

گرم کردن سوخت

اگر انرژی گرمایی سطح پایین در دسترس باشد، از آن می‌توان برای افزایش دمای سوخت های گازی استفاده کرد، که کارایی چرخه را با کاهش مقدار انرژی سوخت بکار رفته برای افزایش دمای سوخت تا دمای احتراق ، افزایش می‌دهد.

به دلیل کم بودن حجم جریان توربین گازی در اثر کاهش احتراق سوخت، کاهش بسیار اندکی (اغلب قابل صرفنظر) در خروجی توربین گاز در مقایسه با حالت عدم گرم کردن سوخت وجود دارد. این کاهش در خروجی سیکل ترکیبی بیشتر از سیکل ساده است، به این دلیل که انرژی که باید برای تولید بخار استفاده شود، برعکس اغلب جهت گرم کردن سوخت به کار می‌رود. تغییرات واقعی راندمان وخرجی سیکل ترکیبی بستگی به افزایش دمای سوخت و طراحی چرخه دارد. مشروط به اینکه اجزای سوخت قابل قبول باشند، دمای سوخت می‌تواند تا حدود حداکثر (۳۷۰°C) ۷۰۰°F بالا برود، قبل از اینکه ذخایر کربن شروع به تشکیل سطوح انتقال گرما و باقی مانده سیستم توزیع سوخت بنماید. در کاربردهای سیکل ترکیبی دمای سوخت ۴۵۰°C تا ۳۰۰ (۱۵۰ - ۲۳۰°C) معمولا مقرون به صرفه است. یک نیروگاه سیکل ترکیبی مقادیر فراوانی انرژی گرمایی سطح پایین دارد. سیستمهای بازگرمایی معمولی سه فشاره کلاس F از آب با فشار متوسط برای گرم کردن سوخت تا (۱۸۵°C) ۳۶۵°F استفاده می‌کند. تحت این شرایط می‌توان حصول راندمان حدود ۰/۳ را برای دستگاه‌های بدون محدودیت دما انتظار داشت. اطمینان از عدم ورود سوخت به سیستم بخار اهمیت دارد، زیرا حداکثر دماهای سیستم بخار معمولا بیشتر از دمای احتراق سوخت‌های گازی است. این کار را به چند روش می‌توان انجام داد. برای سیستمی‌که از تبادل مستقیم گرمای آب به سوخت استفاده می‌کند، فشار آب بالاتر از فشار سوخت نگه داشته می‌شود تا هیچ نشتی در سیستم سوخت بوجود نیاید. نیازهای عملیاتی و طراحی اضافی سیستم اطمینان می دهد که زمانی‌که سیستم آب تحت فشار نبوده، سوخت وارد سیستم بخار نمی‌شود. شکل های ۱۲ و ۱۳ جزئیات چنین سیستمی‌را نشان می‌دهند.



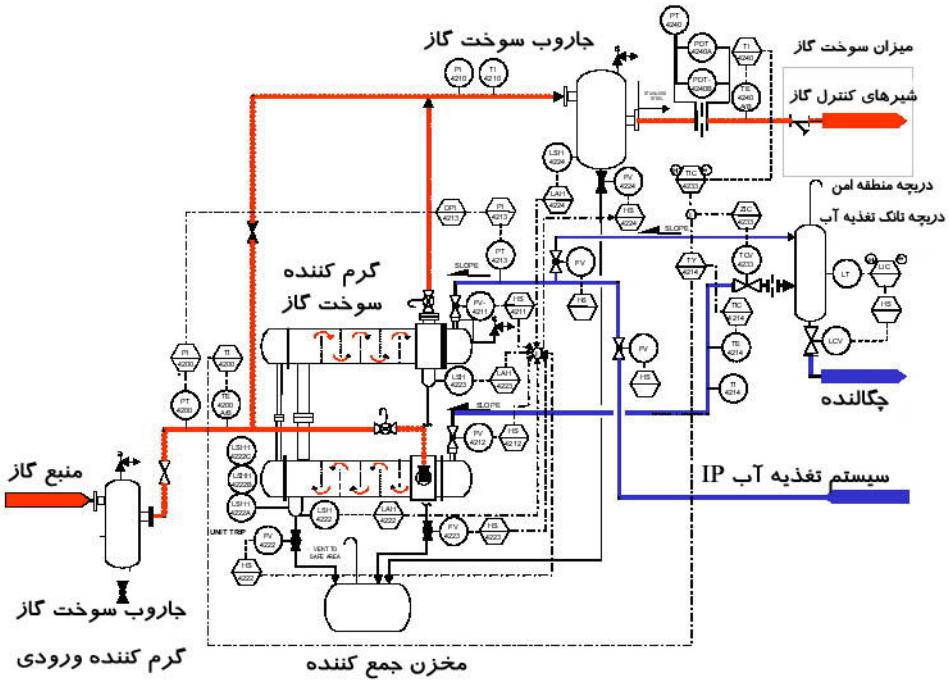
شکل ۱۲- بلوک دیاگرام وابسته گرم کردن سوخت

سیستمهای دیگر از یک سیال انتقال گرمای واسط استفاه می‌کنند، به طوریکه هر گونه نشتی مبدل گرمای سوخت نمی‌تواند وارد سیستم بخار شود. باید توجه داشت در مواقعی ممکن است به جریان آب بیشتری نیاز باشد. برای حصول اطمینان از عدم تجاوز از ظرفیت پمپهای موجود و کافی بودن فشار ها برای رساندن آب به غلطک های HRSG تحت بدترین شرایط، باید محاسباتی انجام شود. برای اطمینان از قابل قبول بودن طراحی ، اجزای دیگری هم که ممکن است جریانهای آب بیشتری ببینند (مانند اکونومایزرهای HRSG) باید مورد بررسی قرار گیرند.

مطالعه موردی ارتقاء عملکرد

تحلیل اقتصادی راههای ارتقای عملکرد شدیدا به پیکربندی نیروگاه، عامل ظرفیت ، منحنی‌های تغییر قیمت برق و هزینه سوخت بستگی دارد. به همین دلیل لازم است که هر نیروگاه، مورد به مورد ارزیابی شود. برای نمونه، ارزیابی اقتصادی برای یک نیروگاه بازگرمایی GE STAG ۲۰۷FA سه فشاره ارائه شده است. ارزیابی اقتصادی ارائه شده در اینجا فرض را بر این گرفته که گزینه های ارتقای توان فقط در طول دروه های پیک تقاضای توان در تابستان هر سال بکار گرفته شده و برای بقیه سال، نیروگاه با بار مبنا کار می‌کند (در شرایط محیطی میانگین سالانه). به عبارت دیگر هنگام ارزیابی مزیت اقتصادی خالص تقویت توان هر نیروگاه، ۲ سطح برای عملکرد نیروگاه در نظر

گرفته می‌شود. این دو سطح عبارتند از عملکرد نیروگاه با بار مبنا در شرایط محیطی متوسط و عملکرد پیک بار در ماکزیمم شرایط محیطی. استفاده از روشهای تقویت توان در شرایط محیطی غیر از شرایط محیطی پیک بار ممکن است به سود ارزیابی اقتصادی آن روش اضافه شود.



شکل ۱۳- سیستم استاندارد گرم کردن سوخت گاز

به عنوان مثال معمول است که سیستم های سرمایش ورودی توربین گاز طوری طراحی شوند تا نگه داشتن دمای هوای ورودی کمپرسور توربین گاز به طور ثابت و در طول رنج دمای محیط، ممکن باشد (با مینیمم دمایی حدود ۴۵^{oF}). با راه‌اندازی یک چیلر در این روش، خروجی سوخت ترکیبی حتی از متوسط محیطی سالیانه یا شرایط محیطی بار مبناهم فراتر می‌رود. به شرط اینکه تقاضا برای الکتریسیته وجود داشته باشد، ممکن است سود ارزیابی اقتصادی بیشتری هم حاصل شود. (این نظریه درمطالعه موردی ارائه شده، مورد ارزیابی قرار نگرفته است).

فرضیات/ توصیف نیروگاه پایه

فرضیات

ثابت

شرایط محیطی متوسط سالیانه: ۱۴/۷,%۶۰RH,۵۹^{oF}

شرایط محیطی دوره اوج: ۱۴/۷psia , %۴۵RH,۹۵^{oF}

سوخت- گاز طبیعی (LHV): ۲۱۵۱۵ Btu/Ibm

مدت ارزیابی : ۲۰ سال

نسبت افزایش : ۳٪ در سال

نسبت کاهش : ۱۰ ٪

نسبت شارژ ثابت : ۱۶٪

فاکتور ظرفیت سالانه: ۸۵٪ (سال/ساعت ۷۴۴۶)

متغیر

قیمت سوخت: ۱/۵۰-۳/۵۰/MMBtu دلار

اوج نرخ انرژی : ۴/۵-۱۸ c/kwh

دوره اوج انرژی: سال/ساعت ۱۰۰-۳۰۰۰

پیکربندی نیروگاه مبنا

خط مبنای شکل نیروگاه که همه روشهای افزایش پیک توان با آن مقایسه می‌شود، نیروگاه سیکل ترکیبی GE STAG ۲۰۷FA است. این نیروگاه از دو توربین گازی PG۷۲۴۱ (FA) با یک سیستم احتراقDLN با – ۹ppmvd (۱۵٪ اکسیژن)، دو HRSG غیر احتراقی با سه سطح فشار با دامنه ۱۰-۱۵°F و یک سیستم سرمایش فرعی برای همه سطوح فشار و یک توربین بخار بازگرمایی D۱۱ نوع GE با شرایط ۱۸۰۰psia/۱۰۵۰°F/۱۰۵۰°F سوپاپ و فشار اگزوز ۱/۵ در Hga تشکیل شده است. سیستم خنک کننده، ترکیبی از یک برج خنک کننده مرطوب و کندانسور است. ترکیب نیروگاه مبنا هیچ گونه تجهیزات تقویت توانی ندارد.

عملکرد تخمینی نیروگاه مبنا:

@ متوسط سالیانه محیط (۵۹°F)

خروجی خالص نیروگاه (kw): ۵۱۴۵۵۰

میزان خالص حرارت نیروگاه (Btu/kwh): ۶۱۹۷

@ دوره اوج محیط (۹۵°F)

خروجی خالص نیروگاه (kw): ۴۵۶۳۲۰

میزان خالص حرارت نیروگاه (Btu/kwh): ۶۳۲۳

برای منظور این مطالعه هزینه مربوط به شکل نیروگاه مبنا برای یک نیروگاه آماده به کار، ۴۲۰ دلار برای هر کیلو وات تخمین زده شده است (بر گرفته شده از سطح میانگین سالانه). هزینه سالیانه عملیات و نگهداری (O&M) مربوط به نیروگاه مبنا ۱۴/۴۵ میلیون دلار در سال اول برآورد شده است.

تشریح روشها:

با پیکربندی نیروگاه مبنا که در بالا توصیف شد، روشهای مختلف تقویت توان و ترکیبی از این روشها به شکل مبنا افزوده شد. ضمیمه ۱ حاوی فهرست کاملی از شیوه های تقویت توان بوده که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است. شایان ذکر است که طرح های کندانسور و برج خنک کننده HRSG بهینه سازی شد برای پیکربندی نیروگاه مبنا و همین سخت افزار در ارتباط با هر یک از شیوه های تقویت توان استفاده شد تا عملکرد مربوط به هر یک از شیوه ها محاسبه شود (طراحی خاموش).

شماره مورد	توضیح : روش افزایش پیک توان
مورد ۱	اوج احتراق GT
مورد ۲	تزریق بخار بخار GT (۳/۵ درصد جریان هوای ورودی کمپرسور)
مورد ۳	تزریق بخار بخار GT (۵ درصد جریان هوای ورودی کمپرسور)
مورد ۴	اوج احتراق GT + تزریق بخار تا ۳/۵ درصد
مورد ۵	اوج احتراق GT + تزریق بخار تا ۵ درصد
مورد ۶	خنک سازی تبخیری GT (رطوبت نسبی محیط ۴۵ درصد)
مورد ۷	خنک سازی تبخیری GT (رطوبت نسبی محیط ۶۰ درصد) حساسیت
مورد ۸	فاگینگ ورودی GT (رطوبت نسبی محیط ۴۵ درصد)
مورد ۹	فاگینگ ورودی GT (رطوبت نسبی محیط ۶۰ درصد) حساسیت
مورد ۱۰	خنک سازی ورودی GT تا ۴۵ درجه فارنهایت (RH محیط ۴۵ درصد) خنک کننده با هیت سینک خروجی
مورد ۱۱	خنک سازی ورودی GT تا ۴۵ درجه فارنهایت (RH محیط ۴۵ درصد) خنک کننده با تاور سینک
مورد ۱۲	خنک سازی ورودی GT تا ۴۵ درجه فارنهایت (RH محیط ۶۰ درصد) خنک کننده با هیت سینک خروجی
مورد ۱۳	خنک سازی ورودی GT تا ۴۵ درجه فارنهایت (RH محیط ۶۰ درصد)

	خنک کننده با تاور سینک
مورد ۱۴	اوج احتراق HRSG - حالت عملکرد فشار لغزشی توربین بخار
مورد ۱۵	اوج احتراق HRSG - حالت عملکرد فشار ثابت توربین بخار
مورد ۱۶	اوج احتراق مکمل HRSG
مورد ۱۷	تزریق بخار GT (۵ درصد)
مورد ۱۸	تزریق بخار GT (۳/۵ درصد)
مورد ۱۹	اوج احتراق GT + تزریق بخار + HRSG مکمل سوز
مورد ۲۰	تزریق بخار GT + خنک سازی تبخیری
مورد ۲۱	تزریق بخار GT + خنک سازی تبخیری + HRSG مکمل سوز
مورد ۲۲	خنک سازی ورودی GT + تزریق بخار GT (۳/۵ درصد)
مورد ۲۳	خنک سازی ورودی GT + تزریق بخار GT + HRSG مکمل سوز
مورد ۲۴	خنک سازی ورودی GT + تزریق بخار GT (۵ درصد)
مورد ۲۵	فاگینگ ورودی GT + تزریق بخار GT
مورد ۲۶	تزریق آب GT
مورد ۲۷	تزریق آب GT + HRSG مجرای آتش
مورد ۲۸	فاگینگ ورودی GT تا اشباع
مورد ۲۹	تزریق بخار GT
مورد ۳۰	الحاق یکدستگاه ژنراتور توربین گاز

علاوه بر این فرض شده که هیچ محدودیتی در دسترسی به آب وجود ندارد و تنها پیامد مصرف بیش از حد آب افزایش تصاعدی آب بها درارتباط با سیتسمهای معامله آب است. برای هر یک از روشهای تقویت بررسی شده، عملکرد نیروگاه (خروجی و نسبت حرارتی) هم در شرایط محیطی متوسط سالیانه بدون عملیات ارتقای کارایی و در شرایط محیطی دوره پیک توان با عملیات تقویت ، افزایش یافت. هزینه فزاینده نیروگاه و O&M تعیین شد و به مدل COE همراه با عملکرد آن در شرایط محیطی متوسط سالیانه و شرایط محیطی دوره اوج وارد شد. مدل COE (شامل همه روشهای ارتقای عملکرد) با قیمت های مختلف سوخت، نرخ های انرژی پیک توان و ساعات کاری سالیانه پیک و غیر پیک به کار رفت. نتیجه حاصل از تحلیل پارامتری COE در ضمیمه ۱a و ۱b خلاصه شده است. ضمیمه ۱a پارامترهای کلیدی ارزیابی اقتصادی مربوط به یک تکنولوژی خاص تقویت عملکرد را خلاصه می‌کند (شامل ترکیبی از تکنولوژیها) در حالیکه ضمیمه ۱b یک درجه بندی اقتصادی ۲۰ ساله NPV از همه روشهای تقویت و ترکیبی از این روشها را به عنوان تابعی از نرخ پیک انرژی و مدت دوره اوج و قیمت سوخت است. همه روشهای تقویت نسبت به مورد مبنا ارزیابی شدند. اعداد مثبت برای ارزش VS که در این جدول نمایش داده شده است، بهره خالص را نشان می‌دهد (چرخه زندگی، ارزیابی NPV).

ولی ارزش منفی یک کمبود نسبت به مبنا را نشان می‌دهد. روش مطلوب تقویت توان باید روشی با ریسک کم با بیشترین ظرفیت تولید پیک توان باشد. (ریسک کم به عنوان یک روش تعریف می شود که هزینه اولیه نسبتا کمی‌داشته و کمترین تاثیر مضر را بر عملکرد در نقطه کاری متوسط سالانه محیط داشته باشد).

ساعات پیک عملکرد سالیانه :	500
نسبت پیک انرژی (¢/kWH):	9.00
هزینه سوخت ($/MMBTU) - HHV:	$2.50

مورد مرجع	مبنا	مورد ۱ پیک بار GT	مورد ۲ تزریق بخار	مورد ۶ خنک سازی تبخیری	مورد ۸ فاگینگ ورودی	مورد ۱۰ چیلینگ ورودی GT	مورد ۱٤ مجرای آتش
عملکرد بار پایه	521,939 6,110	521,939 6,110	521,939 6,110	520,371 6,109	521,405 6,109	520,371 6,109	519,022 6,144
عملکرد میانگین پیک بار	463,420 6,226	475,425 6,208	475,824 6,411	484,811 6,221	488,387 6,215	510,506 6,394	534,707 6,577
افزایش درآمد	-NA-	0.4	4.1	1.4	1.1	11.5	3.7
سال اول COE	2.96 3.63	2.97 3.64	3.00 3.68	2.97 3.64	2.96 3.63	3.01 3.69	2.99 3.66
پتانسیل ریسک	Base	(1.72)	(9.83)	(1.32)	(0.30)	(11.24)	(6.19)
سود خالص	Base	$1.07	($6.95)	$3.63	$5.48	($0.33)	$10.33

ساعات پیک عملکرد سالیانه :	500
نسبت پیک انرژی (¢/kWH):	12.00
هزینه سوخت ($/MMBTU) - HHV:	$2.50

مورد مرجع	مبنا	مورد ۱ پیک بار GT	مورد ۲ تزریق بخار	مورد ۶ خنک سازی تبخیری	مورد ۸ فاگینگ ورودی	مورد ۱۰ چیلینگ ورودی GT	مورد ۱٤ مجرای آتش
عملکرد بار پایه	521,939 6,110	521,939 6,110	521,939 6,110	520,371 6,109	521,405 6,109	520,371 6,109	519,022 6,144
عملکرد میانگین پیک بار	463,420 6,226	475,425 6,208	475,824 6,411	484,811 6,221	488,387 6,215	510,506 6,394	534,707 6,577
افزایش درآمد	-NA-	0.4	4.1	1.4	1.1	11.5	3.7
سال اول COE	2.96 3.63	2.97 3.64	3.00 3.68	2.97 3.64	2.96 3.63	3.01 3.69	2.99 3.66
پتانسیل ریسک	Base	(1.72)	(9.83)	(1.32)	(0.30)	(11.24)	(6.19)
سود خالص	Base	$2.45	($5.53)	$6.10	$8.35	$5.08	$18.54

ساعات پیک عملکرد سالیانه :	1000
نسبت پیک انرژی (¢/kWH):	9.00
هزینه سوخت ($/MMBTU) - HHV:	$2.50

مورد مرجع	مبنا	مورد ۱ پیک بار GT	مورد ۲ تزریق بخار	مورد ۶ خنک سازی تبخیری	مورد ۸ فاگینگ ورودی	مورد ۱۰ چیلینگ ورودی GT	مورد ۱٤ مجرای آتش
عملکرد بار پایه	521,939 6,110	521,939 6,110	521,939 6,110	520,371 6,109	521,405 6,109	520,371 6,109	519,022 6,144
عملکرد میانگین پیک بار	463,420 6,226	475,425 6,208	475,824 6,411	484,811 6,221	488,387 6,215	510,506 6,394	534,707 6,577
افزایش درآمد	-NA-	0.4	4.1	1.4	1.1	11.5	3.7
سال اول COE	2.97 3.65	2.98 3.65	3.01 3.70	2.97 3.65	2.97 3.64	3.01 3.70	2.99 3.67
پتانسیل ریسک	Base	(1.16)	(10.14)	(0.41)	0.74	(10.08)	(4.68)
سود خالص	Base	$4.39	($4.41)	$9.49	$12.29	$11.70	$28.29

: ساعات پیک عملکرد سالیانه	1000
:(¢/kWH)نسبت پیک انرژی	12.00
($/MMBTU) - HHV: هزینه سوخت	$2.50

مورد مرجع	مبنا	مورد ۱ پیک بار GT	مورد ۲ تزریق بخار	مورد ۶ خنک سازی تبخیری	مورد ۸ فاگینگ ورودی	مورد ۱۰ چیلینگ ورودی GT	مورد ۱٤ مجرای آتش
عملکرد بار پایه	521,939 6,110	521,939 6,110	521,939 6,110	520,371 6,109	521,405 6,109	520,371 6,109	519,022 6,144
عملکرد میانگین پیک بار	463,420 6,226	475,425 6,208	475,824 6,411	484,811 6,221	488,387 6,215	510,506 6,394	534,707 6,577
افزایش درآمد	-NA-	0.4	4.1	1.4	1.1	11.5	3.7
سال اول COE	2.97 3.65	2.98 3.65	3.01 3.70	2.97 3.65	2.97 3.64	3.01 3.70	2.99 3.67
پتانسیل ریسک	Base	(1.16)	(10.14)	(0.41)	0.74	(10.08)	(4.68)
سود خالص	Base	$7.15	($1.55)	$14.41	$18.03	$22.54	$44.69

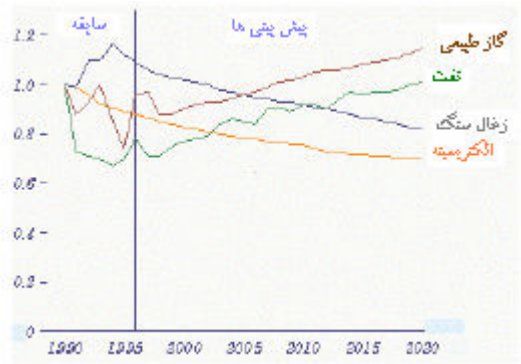
ضمیمه a۱- خلاصه COE از روی چندین سناریوی اقتصادی

از دیدگاه ریسک اقتصادی هم باید توجه داشت که بازار تولید برق نیز بی رونق نیست. به عبارت دیگر گذشته از بررسی سود ارزیابی اقتصادی از جنبه بازار امروز ، باید به انتظارات بازار آینده نیز توجه کافی گردد. در آینده باید انتظار این را داشت که با بالا رفتن مبنای ظرفیت تجهیزات تولید توان در بازار داخلی ، احتمال کاهش نرخ پیک انرژی و تقاضای ظرفیت پیک توان با بالا رفتن قیمت سوخت وجود دارد. با نزدیک شدن نرخ پیک انرژی به قیمت پایه الکتریسیته، انتظار می‌رود که یک بار دیگر کارایی به جای ظرفیت انگیزه اقتصادی مهمی‌در انتخاب تجیهزات تقویت عملکرد باشد. در اطراف چنین بازاری باید انتظار داشت که کارآمدترین نیروگاه‌ها، سودمندتر خواهند بود و از نیروگاه های پر ظرفیت کم بازده پیشی بگیرند. برای توضیح بیشتر این نکته شکل های ۱۴ و ۱۵ روند احتمالی بازار را در رابطه با نرخ های مصرف کننده برق و قیمت های سوخت نشان می‌دهند. (هر دو شکل از وب سایت مدیریت اطلاعات انرژی (DOE) برگرفته شده است).

شکل ۱۴ یک پیش بینی ترکیبی از نرخ های الکتریسیته و قیمتهای سوخت به عنوان تابعی از زمان را نشان می‌دهد. محور y ها نمودار نسبت پیش بینی شده نرخهای برق و بهای سوخت را نسبت به آنچه در سال ۱۹۹۰ وجود داشت،

نشان می‌دهد. شایان ذکر است که روند کاهش نرخ برق نتیجه مستقیم رقابت بین تولید کنندگان برق و حاصل آزادسازی صنعت تولید توان است.

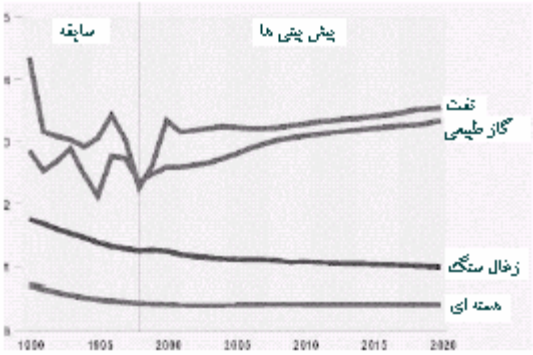
شکل ۱۵ یک پیش بینی از قیمت سوخت که در راستای انواع سوخت ها امتداد می یابد را نشان می دهد.قیمت های نشان داده شده روی محور yها قیمت سوخت را بر حسب $/۱۰۰ft۳ نشان می دهد.



شکل ١٤. قیمت های سوخت / الکتریسیته پیش بینی شده

توضیح

تعدادی از راه های بررسی شده ، معین شده است که بحث و توضیح در مورد نتایج مطالعه پارامتری COE برای بیان جزئیات مهم هر راه بی فایده است. همچنین این بحث به گروه های کلی از حداکثر برق تناوبی که تقریباً از همه سناریوهای اقتصادی امتحان شده بهتر ارزیابی شده بود ، محدود شده است. این راه به گروه های کلی از HRSG مجرای آتش ، فاگینگ هوای ورودی توربین گاز ، چیلینگ هوای ورودی توربین گاز و خنک کردن تبخیری توربین گاز تقسیم شده اند.



شکل ۱۵.پیش بینی قیمت های سوخت

HRSG مجرای آتش

دو روش از HRSG مجرای آتش به منظور این مطالعه ارزیابی شده است.ابتدا روش سنتی GE ، که مبتنی بر عمل تغییر فشار روی توربین بخار می باشد. این ترکیب به اینصورت طراحی شده است که فشار سوپاپ در مد عمل آتش نشده در میانگین سالیانه شرایط محیط عمدتاً از فشار سوپاپ مورد پایه در همان شرایط کمتر است.فشار سوپاپ در مد عمل آتش نشده به صورت دستی بوسیله افزایش سطح ورودی پائین آورده می شود ، به اینصورت که ، هنگامی که HRSG آتش گرفته شده باشد توربین بخار می تواند در فشار کمتر از psia ۱۹۰۰ بخار اضافی جریان تولید شده را تعدیل کند. سطح آتش حساب شده در این مطالعه به اینصورت است که بخار تولیدی HP (فشار بالا) آتش شده تقریباً ۱,۴۵ برابر بخار تولیدی HP (فشار بالا) پایه دستگاه در میانگین سالیانه شرایط محیط می باشد. اکنون که این روش از HRSG مجرای آتش به عنوان یک بهره مهم (تقریباً ۱۵ درصد خروجی خالص دستگاه یا تقریباً ۴۱ درصد خروجی ناخالص ژنراتور توربین بخار) در حداکثر دوره تناوب برق تولیدی در وضعیت پایه پذیرفته شد ، یک کاهش اندک و یک افزایش مرتبط با مقدار گرما نسبت به مورد پایه در یک مد عمل آتش نشده ، وجود دارد. این کاهش حدود سه مگاوات در خروجی خالص دستگاه ، پیدا شده بود.

دومین روش از HRSG مجرای آتش یک مد عملیاتی فشار ثابت می باشد. فشار سوپاپ تعیین شده برای این نمونه برابر مورد پایه در میانگین سالیانه شرایط محیط می باشد.در این نمونه حد اکثر فشار سوپاپ در اثر هدایت بخارHP به داخل باز گرمکن سرد تقریباً تا psia۱۹۰۰ محدود شده است. بنا براین حداکثر خروجی ژنراتور توربین بخار برابر مورد فشار متغیری

است که می تواند بدون تلفاتت به بازده ای چشمگیر نسبت به وضعیت پایه برسد. نقطه ضعف این ترکیب این است که سرمایه اصلی آن کمی بیشتر از نوع فشار متغیر می باشدونیز هنگامی که خروجی ژنراتور توربین بخار با ترکیب فشار متغیر فراهم شده باشد یک مجرای سوزاندن سوخت مصرفی بزرگتری وجود دارد.خروجی ژنراتور توربین بخار فراهم شده ، یک بهره تقریباً ۴۱ درصدی در خروجی ناخالص ژنراتور توربین گاز و وابسته به آن یک بهره تقریباً ۱۴,۵ درصدی در خروجی خالص دستگاه ، نسبت به عملکرد پایه دستگاه در حاکثر دوره تناوب شرایط محیط را نتیجه می دهد.

فاگینگ ورودی توربین گاز / خنک کردن تبخیری

مدتی است که عملکرد مفید سیستم های سرد کردن تبخیری و فاگینگ ورودی که نسبت به تغییرات رطوبت نسبی محیط حساس هستند ، تقاضاها را از میان یکی از آن دو سیستم به خود جلب کرده است (رجوع شود به شکل ۵) ، این پیش بینی منطقی سود ارزشیابی اقتصادی هر دو سیستم ، همچنین حساسیت دو سیستم به تغییرات رطوبت نسبی محیط می باشد.این مطالعه نمونه سعی می کند بررسی کند این پدیده را بوسیله آزمایش، که ارزیابی سود هر سیستم در حداکثر بار نامی در شرایط محیط دمای ۹۵ درجه فارنهایت و RH٪۴۵ به خوبی دمای ۹۵ درجه فارنهایت و RH٪۶۰ می باشد (موارد ۶ ، ۷، ۸ و ۹).

مزیت فاگینگ نسبت به روش سنتی خنک کردن تبخیری در سه قسمت ظاهر می شود:

۱-هزینه عمده پایین تر

۲- تأثیر بیشتر سرد کردن (توانایی رسیدن به دمایی کمتر از دمای ورودی متراکم شده توربین گاز)

۳- مقدار کمتر افت فشار ورودی توربین گاز در اثر سخت افزار فاگینگ.

پتانسیل هوای سرد ورودی سیستم فاگینگ بیشتر از سیستم خنک کننده تبخیری تعیین شده است، این حداکثر دوره تناوب برق بهبود یافته رانتیجه می دهد. در مجموع ، در مدت حداقل دوره تناوب (هنگامی که وسایل بالا برنده کیفیت برق سرویس نمی دهند) دستگاه ترکیب شده با یک سیستم فاگینگ ورودی ، نسبت به دستگاه ترکیب شده با سیستم خنک کننده تبخیری خروجی بیشتری دارد . این یک نتیجه درست است از کمتر بودن افت فشارورودی مربوط به سیستم فاگینگ ورودی در مقابل سیستم خنک کننده تبخیری سنتی.

یک پتانسیل برگشتی به سیستم فاگینگ ، پتانسیل قطره آب کوچکی است که به داخل ورودی مترکم کننده توربین گاز حرکت می کند . مسائل مربوط به آب حرکت کننده به داخل متراکم کننده و اثر آب حرکت کننده روی عملکرد سیستم احتراق DLN موضوعات تحت بررسی هستند.

چیلینگ (سردکردن) ورودی توربین گاز

به منظور این مطالعه ، یک سیستم چیلینگ مکانیکی با سرد کردن دمای ورودی توربین گاز از ۴۵ درجه فارنهایت به عنوان وسائلی مؤثر برای تولید کردن اضافی حداکثر دوره تناوب برق بررسی شده است. در این مورد از خنک کننده تبخیری ، در جه بندی سیستم های چیلینگ سیستم چیلینگ با رطوبت نسبی محیط حساس شده است . بنابراین این مطالعه شامل هوای ورودی چیلینگ تا ۴۵ درجه فارنهایت در شرایط محیط از ۹۵ درجه فارنهایت ،RH٪۴۵ و ۹۵ درجه فارنهایت ، RH٪۶۰ و تعیین کردن حساسیت COE برای چیلینگ با در نظر گرفتن رطوبت نسبی محیط می شود.

همچنین در این مطالعه ، اثر یک سیستم چیلینگ بکار رفته در برج سرد کننده اصلی بصورت یک گرماگیر مقایسه شده با یک سیستم سرد کننده اختصاصی پذیرفته شده است.سسیتم چیلینگ با یک سیستم خنککننده اختصاصی سطح عملکرد

بالاتری را نسبت به سیستم استفاده شده در برج خنک کننده اختصاصی نتیجه می دهد زیرا روی توربین بخار کم فشار اثری ندارد ؤ هرچند سود عملکرد آن از جبران سازی بوسیله مجم .ع سرمایه اصلی سیستم سردکننده اختصاصی بیشتر است.این بررسی نمی تواند دیگر ترتیبات ورودی چیلینگ مانند انبار گرمایی و چرخه های جذبی چیلینگ ، را به صورت قبل توجیه کند.

نتایج

تقریباً تمام مباحث اقتصادی بررسی شده در این مطالعه ، یعنی HRSGمجرای آتش (هر دو مد عملیاتی فشار متغیر و فشار ثابت)در مدت ۲۰ ساله ارزیابی COE نسبت به مورد پایه (مورد بدون هیچ وسیله بالا برنده کیفیت برق) یک موفقیت آشکار به نظر می رسد. در مجموع ، مجرای آتش با فاگینگ ورودی ، خنک کردن تبخیری و چیلینگ هوای ورودی پیگیری شده است همچنین ، نسبت به پایه برآورد مطلوبی دارد. یک مورد استثنایی کلی این است که سیستم چیلینگ هوای ورودی در مقادیر پیک برق کمتر از ۹ سنت بر کیلو وات ساعت می باشد .(مراجعه شود به دیاگرام ۱).

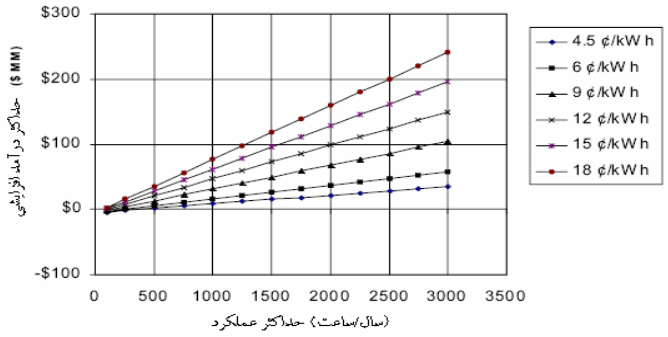
نمودار گرافیکی از افزایش سود حداکثر برق به صورت تابعی از حاکثر مقدار انرژی درمقابل حداکثر ساعات عمل کردن برای هریک از این موارد رسم شده است (دیاگرام ۲). این اطلاعات حساسیت هر مورد به ساعات عمل کردن ، هزینه سوخت و حداکثر مقدار انرژی و گروه های مقرر شده ای از ریسک در مقابل سود مرتبط با این موارد را روشن می کند.

این چهار موردی که در بالا توصیف شد به سه گروه پایه روی پتانسیل ریسک و سود مرتبط با هر یک از این موارد تقسیم شده اند. این گروه ها ریسک پائین ــ سود متوسط ، ریسک متوسط ــ سود بالا و ریسک بالا ــ سود بالا می باشند . نمودارهای نمونه ای از ریسک در مقابل سود روی یک در صد ارزش خالص (NPV) پایه برای این چهار گروه پیوست شده است (نمودارهای ۳). ریسک مرتبط با یک مورد داده شده برای آن مورد ترکیب شده با ارزش کمترین عملکرد در مدت حداقل ساعات عمل ، سرمایه اصلی آن می باشد.ضرر اقتصادی نتیجه شده از کمترین عملکرد قیمت ثابتی از برق ارزیابی شده است . به عبارت دیگر، ضرر اقتصادی برای افزایش تصاعدی COE مورد مشخص شده ، نسبت به مورد پایه بیان می شود و به حداکثر مقدار انرژی و حداکثر زمان بارگیری وابسته است. برای این مطالعه NPV کمترین بازده به حداقل

عملکرد بار مربوط شده است. سود به صورت مقدار درصد خالص افزایش در آمد در طی پیک دوره های تناوب عملیاتی نسبت به پایه در یک بررسی ۲۰ ساله برای گزینه مورد نظر تعیین شده است.رجوع شود به دیاگرام ۳ ، حداکثر بازده دستگاه مربوط به مبحث اقتصادی مشخص شده ، در بیشترین فاصله از محور y ها همزمان با بسته شدن روی محور x ها خواهد بود.خط تو پری میان پتانسیل سود و ریسک روی این منحنی ها نشان داده شده است . به عبارت دیگر ، هر نقطه روی این خط این مطلب رانشان میدهد که پتانسیل سود با پتانسیل ریسک برابر است، این نکته باید مورد توجه باشد که ریسک ممکن است برای چند مورد اقتصادی به یک مقدار منفی برسد که این، مقدار سود ثابت و زیادی را که از برق و در طول یکسال می توان بدست آورد را نشان می دهد.

افزایش سرمایه مربوط به بالا رفتن کیفیت برق برای مورد داده شده ، انتگرال بخشی از کل مدل تحلیلی اقتصادی می باشد . اگر چه تصور شده است که بهترین پیش بینی های ممکن در مدل COE استفاده شده در طول این بررسی مورد استفاده قرار گرفته است ، اما بررسی کردن حساسیت برای این پارامتر ارزشمند است . بطور کلی سرمایه اصلی و عمده هر یک از موارد یک درصد خیلی کوچکی از کل سرمایه پایه می باشد . بنابراین ، یک تغییر کوچک نسبت به مقدار واقعی در سرمایه اصلی پیش بینی شده ، به صورت نسبت سرمایه تولید شده به نسبت سرمابه بکار گرفته شده ، با تمامیت درستی آخرین نتایج نشان داده شده در این بررسی نمی سازد

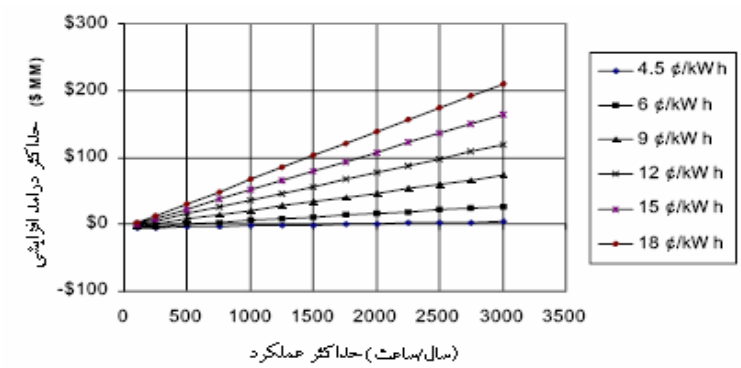
دیاگرام های ۲ . افزایش حداکثر درآمد برق در مقابل حداکثر ساعات عمل (بوسیله پیک برق تناوبی)



روش : hrsg مجرای آتش (نمونه ۱۵) هزینه سوخت: ۱,۵۰ $ per MMB – HHV مجموع

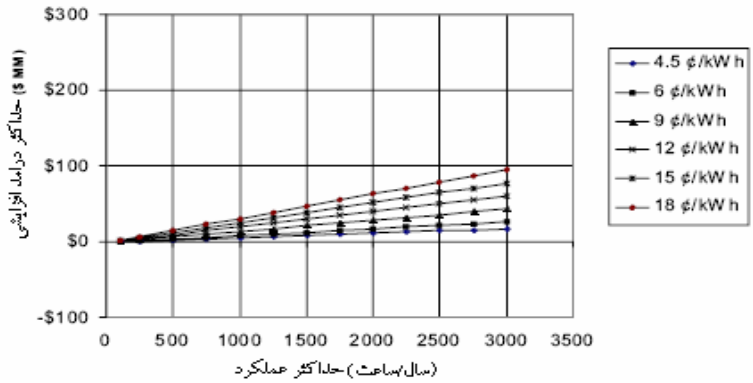
سالیانه ساعات عمل : ۷۴۴۶ ساعت

.



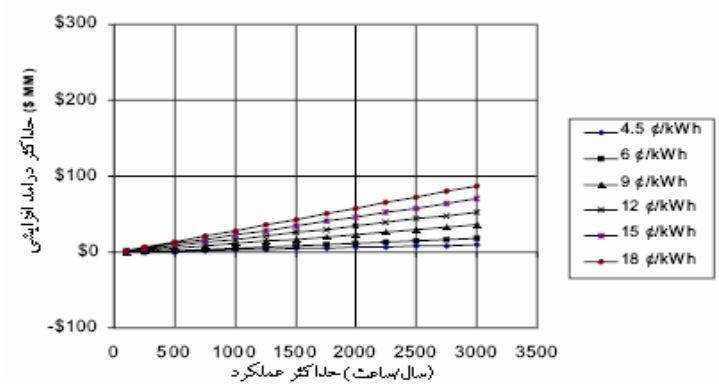
روش : hrsg مجرای آتش (نمونه۱۵) هزینه سوخت: ۳,۵۰ $ per MMB – HHV

مجموع سالیانه ساعات عمل : ۷۴۴۶ ساعت



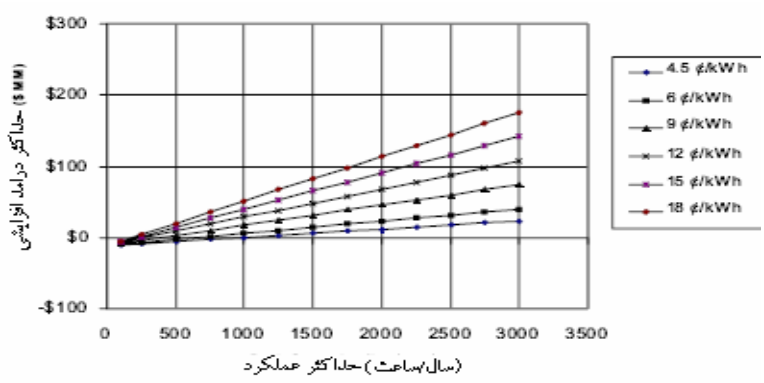
روش : فاگینگ ورودی توربین گاز (نمونه ۸) هزینه سوخت: ۱,۵۰ $ per MMB – HHV

مجموع سالیانه ساعات عمل : ۷۴۴۶ ساعت



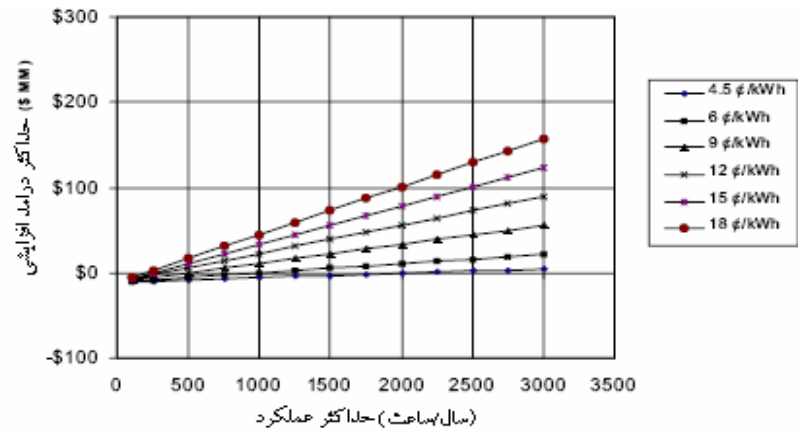
روش : فاگینگ ورودی توربین گاز (نمونه ۸) هزینه سوخت: ۳,۵۰ $ per MMB – HHV

مجموع سالیانه ساعات عمل : ۷۴۴۶ ساعت



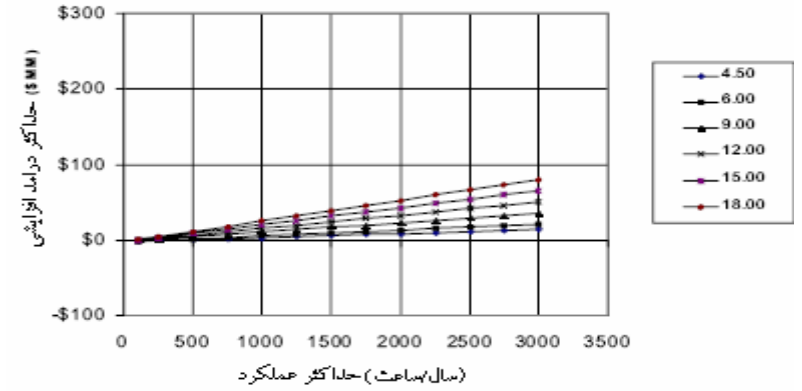
روش : سرد کردن هوای ورودی توربین گاز (نمونه۱۱) هزینه سوخت : ۳,۵۰ $ per MMB – HHV

مجموع سالیانه ساعات عمل : ۷۴۴۶ ساعت



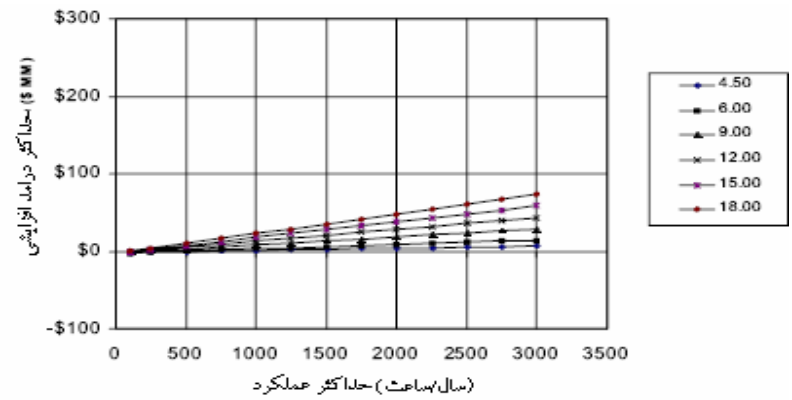
روش : سرد کردن هوای ورودی توربین گاز (نمونه۱۱) هزینه سوخت : – ۱,۵۰ $ per MMB HHV

مجموع سالیانه ساعات عمل : ۷۴۴۶ ساعت



روش : سرد کردن تبخیری توربین گاز (نمونه ۶) هزینه سوخت : – ۱,۵۰ $ per MMB HHV

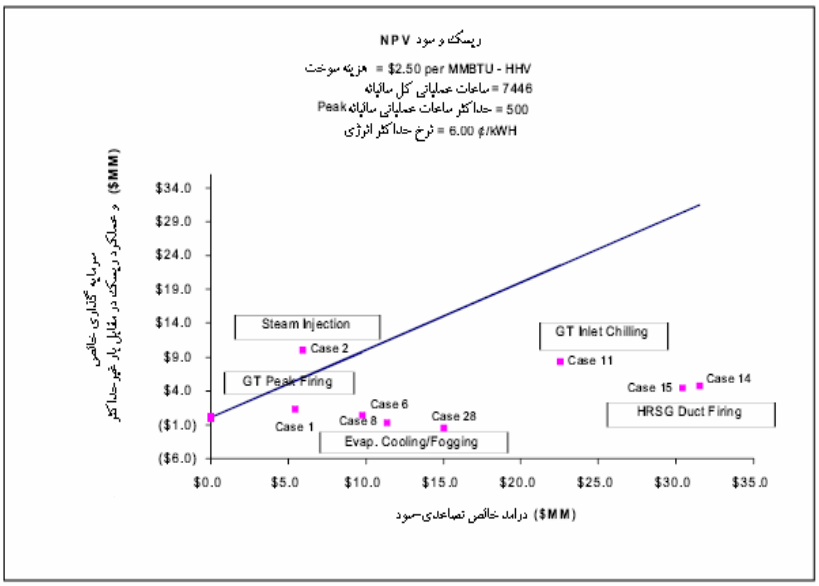
مجموع سالیانه ساعات عمل : ۷۴۴۶ ساعت



روش : سرد کردن تبخیری توربین گاز (نمونه ۶) هزینه سوخت :HHV – $ per MMB ۱,۵۰

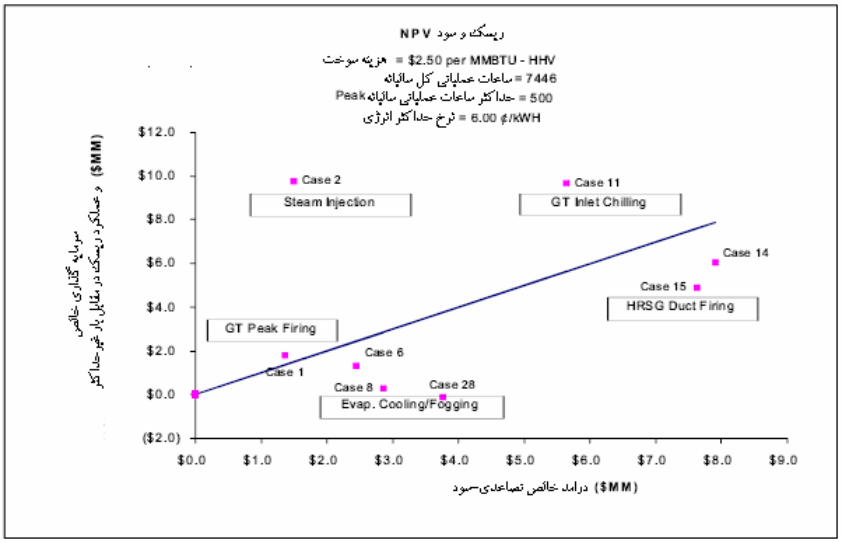
مجموع سالیانه ساعات عمل : **۷۴۴۶** ساعت

نمودارهای ۳.ریسک در مقابل سود



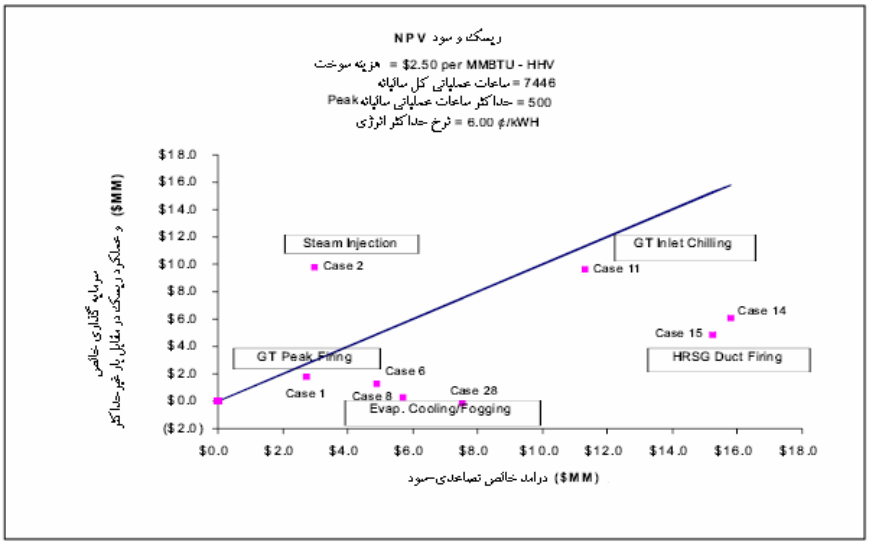
هزینه سوخت: $ per MMB – HHV ۲,۵۰ مجموع سالیانه ساعات عمل : ۷۴۴۶ ساعت حداکثر

ساعات عمل سالیانه: ۱۰۰۰ ساعت



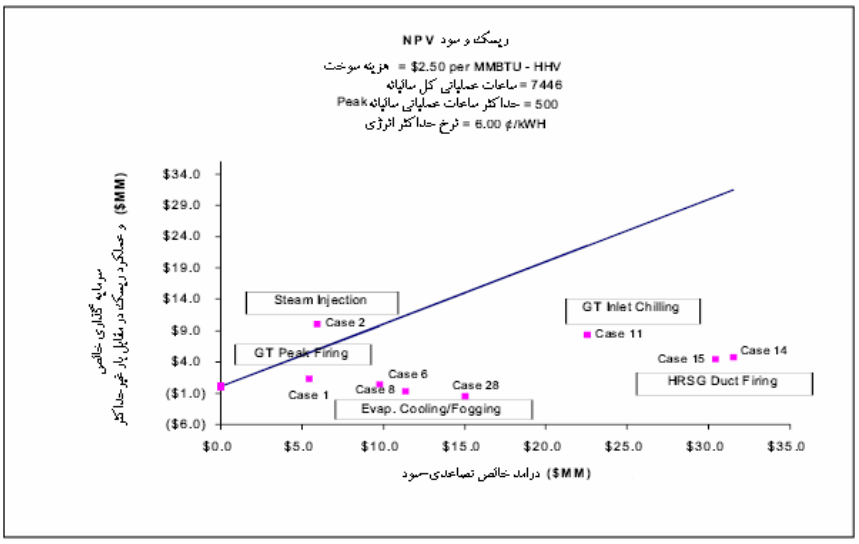
هزینه سوخت: $ per MMB – HHV ۲,۵۰ مجموع سالیانه ساعات عمل : ۷۴۴۶ ساعت حداکثر

ساعات عمل سالیانه: ۱۰۰۰ ساعت



هزینه سوخت: $ per MMB – HHV ۲,۵۰ مجموع سالیانه ساعات عمل : ۷۴۴۶ ساعت حداکثر

ساعات عمل سالیانه: ۵۰۰ ساعت



هزینه سوخت: ۲,۵۰ $ per MMB – HHV مجموع سالیانه ساعات عمل : ۷۴۴۶ ساعت

حداکثر ساعات عمل سالیانه: ۱۰۰۰ ساعت

اگر چه نسبت در جه بندی پیک برق بهبود یافته در هر مورد با توجه به اهمیت تغییرات داده شده نخواهد بود ، تغییرات یک گزینه نسبت به وضعیت پایه دستگاه بصورت کم ونا چیز متأثر خواهد بود . در یک تلاش برای مورد ملاحضه قرار دادن مربوط به این نقطه ، مدل coe ۱۰+ الی ۱۰ـ تغییر می کند . هر سرمایه گذاری دیگر نیازمند بوجود آوردن یک ارزیابی از حساسیت تغییر نسبی این تغییر می باشد (به جد ول ۲ نگاه کنید). جدول ۲ می تواند بصورت همزمان با نمودارهای a۱ و b ۱ برای سنجیدن رتبه بندی این موارد نسبت به وضعیت پایه دستگاه استفاده شود.

تغییر نسبی در ارزیابی NPV	تغییر در اصل سرمایه	تکنولوژی بهبود دادن کیفیت برق
-۰,۰۴/+۰,۰۴	۱۰٪	GT پیک آتش
-۰,۱۳/+۰,۱۳	۱۰٪	سرد کننده تبخیری
-۰,۱۱/+۰,۱۱	۱۰٪	چیلینگ ورودی
-۱,۰۱/+۱,۰۱	۱۰٪	تزریق بخار
-۰,۴۱/+۰,۴۱	۱۰٪	HRSG مجرای آتش
-۰,۳۷/+۰,۳۷	۱۰٪	فاگینگ ورودی

جدول ۲. اثر تغییر اصل سرمایه در ارزیابی اقتصادی

HRSG مجرای آتش

از تمام موارد بهبود دهنده کیفیت برق آزمایش شده ، HRSG مجرای آتش یکی از بیشترین بهره ها را در افزایش پیک برق تولید خواهد داشت (تقریباً ۱,۵ درصد خروجی خالص دستگاه نسبت به نمونه پایه) و تحت تمام مباحث اقتصادی بیان شده در این مطالعه مطلوب ارزیابی می شود .بدین لحاظ، به نظر می رسد کاربرد HRSG مجرای آتش در طول یک دوره ۲۰ ساله ارزیابی COE ،یک ریسک متوسط با پتانسیل سود بالا (نسبت به سه مورد دیگری که در انجا بحث شد) دارد.در این مطالعه سرمایه اصلی برای روش HRSG مجرای آتش از نظر بزرگی سومین روش تعیین شده است . (کاربرد یک PG۷۱۲۱[EA] نیازمند بیشترین سرمایه می باشد و بوسیله چلینگ هوای ورودی توربین گاز دنبال شده است).

این باید مورد توجه باشد که مقدار duct –firing در نظر گرفته شده در این مطالعه متوسط مدتهای افزایش در در هر دو STG و خروجی خالص دستگاه می باشد.اگر چه این ممکن است بالاتر از ظرفیت هایی که در اینجا بررسی شده است برسد ، بنابراین برای رسیدن به سود بالاتر در مجموع ریسک اقتصادی در پی خواهد داشت. در مجموع ، بصورت بیشتر و بهتر حداکثر ظرفیت آتش طراحی شده در ترتیب دستگاه در عملکرد بار پایه در مد آتش نشده ، دور تر از عملکرد دستگاه در مد آتش شده شیفت داده شده است . (نمونه پایه). بنابراین ، وقتی جریان برق تولیدی بازار از یک شیفت داده شود ،آن بصورت اولیه و توسط ظرفیت به یک حرکت داده شده که آن نیز بوسیله کارآیی حرکت داده شده است ، یک دستگاه که بصورت اقتصادی سر تا سر یک ظرفیت حرکت داده شده بازار بهینه شده نسبت به یک دستگاه بهینه شده سرتاسر بازده بار پایه می تواند بصورت اقتصادی کارآیی خود را از دست داده باشد.

از دو روش HRSG مجرای آتش که در بالا شرح داده شد ، مجرای آتش در مد فشار ثابت در ساعات عمل با پیک کم منجر به تسهیل می شود واین در صورتی است که مجرای آتش در مد فشار متغیر در ساعات عمل با پیک بالا منجر به تسهیل می شود .این گرایش وجد دارد که : ترتیب فشار ثابت در طی دوره های تناوب نان پیک برق بیشتر مؤثر است (با خروجی بالاتر توربین بخار در مد آتش نشده) ترتیب فشار متغیر در طی دوره های تناوب پیک برق بیشتر مؤثر است (زیرا مجرای سوخت برای رسیدن به خروجی ژنراتور توربین بخار ثابت شده ، سوخت کمتری مصرف می کند .).

فاگینگ هوای ورودی توربین گاز

فاگینگ هوای ورودی توربین گاز در گروه سود و ریسک متوسط قرار می گیرد .فاگینگ هوای ورودی به کمترین پیش هزینه نسبت به همه موارد بحث شده نیاز دارد. فاگینگ ورودی کمترین افزایش ظرفیت پیک برق توایدی را دارد (تقریباً ۵,۵ تا ۷ درصد خروجی خالص دستگاه پایه) و دومین روش بعد از سرد کننده تبخیری است . فاگینگ ورودی نسبت به همه موارد ، کمترین حساسیت را به تغییرات پارامتر های اقتصادی بررسی شده دارد زیرا ، اثر آن در کمترین دوره تناوب عملکرد دستگاه ناچیز است ، و به سرمایه اولیه پایین و بهره متوسط در اثر افزایش پیک دوره تناوب برق تولیدی مربوط شده است .

خنک کردن تبخیری توربین گاز

خنک کننده تبخیری سنتی توربین گاز نیز در گروه سود متوسط ــ ریسک پایین قرار می گیرد .خنک کننده تبخیری به سرمایه اصلی بیشتری نسبت به مقدار استفاده شده برای روش فاگینگ ورودی نیاز دارد ونسبت به روش فاگینگ اثر منفی نسبتاً بیشتری روی عملکرد دستگاه دارد و نسبت به تمامی روش ها و موارد ی که در اینجا بررسی شسد کمترین افزایش پیک ظرفیت بر ق تولیدی را دارد. رون د اقتصادی مربوط به سیستم خنک کننده تبخیری شبیه آن روشی است که برای سیستم فاگینگ وجود داشت ، هر چند که خنک کننده تبخیری نسبت به هر چیزی که برای روش فاگینگ استفاده شد، به مقدار انرژی برق بیشتری برای رسیدن به ترتیب دستگاه پایه نیاز دارد .

هر دو روش فاگینگ و خنک کننده تبخیری به رطوبت نسبی محیط حساسند. کمترین نمی که با هوای ورودی وارد توربین گاز می شود ، اثر آن روی سیستم فاگینگ و خنک کننده تبخیری زیاد است و یک افزایش بیشتری را در ظرفیت پیک بر ق تولیدی نتیجه می دهد ، عکس این مطلب هم درست است .

چیلینگ هوای ورودی توربین گاز

چیلینگ هوای ورودی توربین گاز تنها به منظور بدست آوردن درآمد اضافی پیک دوره تناوب برق در گروه ، سود بالا ــ ریسک بالا، قرار میگیرد.از همه موارد مطرح شده ،روش چیلینگ به بیشترین پیش پرداخت هزینه سرمایه گذاری با یک

ظرفیت افزایشی پیک دوره تناوب بر ق تولیدی بعد از روش HRSG مجرای آتش نیاز دارد. (تقریباً ۹ تا ۱۰٫۸ درصد خروجی خالص دستگاه پایه). چیلینگ هوای ورودی بیشترین حساسیت را به پیک دوره تناوب ساعات عملیاتی دارد و بعد از روش HRSG مجرای آتش به هزینه سوخت حساس است .

هدف این مطالعه ، بیشترین صرفه جویی در پیک برق متاوب ، تعیین شده است وبه تنهایی برای هر گونه افزایش سودی که از طریق بکار بردن یک سیستم چیلینگ در مدت یکسال می تواند بدست آورده شود ، پاسخگو نمی باشد . به شرط آنکه تقاضای بار وجود داشته باشد ، برای ثابت نگه داشتن دمای هوای ورودی متراکم کننده در ۴۵ درجه فارنهایت برای دماهای محیط بیشتر از ۴۵ درجه فارنهایت ، می تواند چیلینگ بکار گرفته شود . در مجموع می تواند یک سود اقتصادی تقریباً ۳٫۲۵ ملیون دلاری را تأمین کند و چیلینگ هوای ورودی می تواند در طبقه بندی ریسک متوسط ــ سود بالا پذیرفته شود زیرا آن می تواند با رعایت کردن اصول همه مباحث اقتصادی بررسی شده بصورت مطلوب مقایسه شود .

نتیجه گیری

چندین روش برای بالا بردن بازده سیکل ترکیبی علاوه بر روش بزرگ کردن اندازه توربین گاز و افزایش پیچیدگی سیکل ، در دسترس است .رنج خروجی بوسیله بکار بردن وسایلی که خروجی اصلاحی موفق را فراهم می کنند بهبود می یابد (یعنی سرد کردن تبخیری ، خنک کردن و چیلینگ) تا اینکه می تواند فراهم کند خروجی هایی را در همه شرایط محیط (آب تزریقی و آتش اضافی). بهبود عملکرد می تواند بوسیله گرمای سوخت و اسپری ورودی خنک کننده انجام شود . آخرین انتخاب به ارزیابی دقیق از فا کتور های بیشتری شامل: خصوصیات آب آماده استفاده ، حفاظت ، سرمایه پایه ، هزینه عملکرد ، عمل کردن مداوم و سرعت دستگاه ، نیاز دارد .

نقطه کانونی این دستگاه روی محرک های اقتصادی و فرصتهایی که در بازارهای امروزی محیط زیست موجود است، متمرکز شده است .در حالیکه عوامل اقتصادی در بازارهای امروزی عمدتاً توانایی رانده شده بصورت یک نتیجه از گرا نتر بودن هزینه تولید برق در طی پریودهای نسبتاً کوتاه پیک برق تقاضا شده هستند ، پیش بینی های دوره های طولانی بازار باید برای تضمین بلند مدت بصورت مفید ، به دقت بررسی شده باشند . با وجود آنکه توانایی مستقر شده در همه کشور افزایش

می یابد ، بالا رفتن و از کنترل خارج شدن قیمتهای سوخت درصنعت تولید برق بیشتر رایج می شود ، این تصور شده است که یک سفارش مجدد روی عملکرد دستگاه قرار خواهد گرفت. بنابراین توانایی دستگاه طراحی شده امروزه بصورت متوسط افزایش می یابد، طرز فکری که بیان می کند کارآیی اثر مهم سود آوری دستگاه در آینده می باشد ،می تواند همیشه موفق باشد در طول چرخه حیات به صورت مفید.

مراجع:

۱. Chin, D, Hermanson, J. C., and Spadaccini,L. J., "Thermal Stability and Heat TransferCharacteristics of Methane and Natural GasFuels," Transactions of the ASME Paper۹۴-GT-۳۹۰, ۱۹۹۴.

۲. Loud, R. L., and Slaterpryce, A.A., "GasTurbine Inlet Air Treatment," GER ۳۴۱۹A,۱۹۹۱.

۳.Mee, T. R., "Inlet Fogging Augments PowerProduction," Power Engineering, February۱۹۹۹.

۴.Fisk, R. W., and VanHousen, R. L.,"Cogeneration ApplicationConsiderations," GER ۳۴۳۰F, ۱۹۹۶.

۵. Brooks, F. J., "GE Heavy-Duty Gas TurbinePerformance Characteristics," GER۳۵۶۷G, ۱۹۹۶.

۶. McNeely, M., "Intercooling for LM۶۰۰۰ GasTurbines," Diesel and Gas TurbineWorldwide, July-August ۱۹۹۸.

۷. Lukas, H., “Power Augmentation throughInlet Cooling,” Global Gas Turbine News,Vol. ۳۷, No. ۳, ۱۹۹۷.

واژگان ویژه

واژه های اقتصادی

cost of electricity (COE) : مجموع هزنه های تولید برق شامل هزینه های سوخت ، عمل و نگهداری ، بازیابی سرمایه اصلی و دیگر پرداخت ها و هزینه های متفرقه دیگر .

variable expenses : هزینه هایی در تولید کردن که تابعی از ساعات عمل کردن دستگاه می باشند (سوخت ، نگهداری که وابسته است به ساعات آتش شدن و تحلیل رفتن).

Fixed expenses : هزینه هایی در تولید کردن که تابعی از ساعات عمل کردن دستگاه نمی باشند (سرمایه اصلی ، هزینه کارکنان عمل کننده و مدیران و حق مالیات) .

Energy revenue : عوارضی که بابت توزیع انرژی(کیلو وات ساعت یا مگا وات ساعت) به شبکه پرداخت می شود .مطلبی که دو درآمد انرژی با تجزیه وتحلیل اقتصادی در اینجا بیان شده اند ، یک تابعی از هزینه برق در مدت عملکرد بار پایه و دیگری تابعی از حداکثر مقدار انرژی احتمالی می باشد . هر کدام تابعی از افتادن بین بار پایه و پیک بار ی که ساعتها عمل می کند ، می باشند.

Turnkey cost : هزینه ای از دستگاه بوسیله منبع و آماده عمل (بصورت عادی فشرده شده در هر ملیون دلار یا $/kw).

Total capitalization : هزینه آماده به کار به علاوه هزینه مالک .نمونه هایی شامل : هزینه های بهره رد مدت ایجاد ، مجوز ، زمین ، مونتاژ کردن و روشن کردن .

Fixed – charge rate (FCR) : یک نمونه ساده شده از هزینه سالیانه وام گرفته شده و سر مایه گذاری شده . قابل مقایسه بامقدار یک وام باز پرداختی که ارزش آن (نشان داده شده به صورت درصدی از کل ارزش سرمایه گذاری شده) ، اگر هر سال روی حیات اقتصادی از این طرح استفاده شود ، مالک به برگشت کل سرمایه اصلی (دارایی و بدهی) و یک بازگشت تصریح شده روی سرمایه تضمین می شود . (مقدار IPP عادی در امریکا برای ۲۰ سال ۱۶ درصد است).

Levilization : تبدیل از گروه جریانهای متغیر نقدی به جریان نقدی ثابت هم ارزش با یک موجودی خالص یکسان (NPV) . در مقایسه با دو طرح یا بیشتر یا طراحی دستگاه با مفهوم ساختارمتفاوت سرمایه و انرژی ، به شدت سودمند است .

واژه های دیگر

risk : ریسک اقتصادی برق تعیین می شود به صورت ضرر عملکرد در بار پایه نسبت به یک دستگاه بهینه شده بدون حساب کردن هزینه مربوط به بالا بردن کیفیت یا هزینه های اضافی سوخت و عمل و نگهداری . ریسک اقتصادی نباید با ریسک فناوری اشتباه گرفته شود .

reward : پتانسیل افزایش درآمد مربوط شده با پیک برق تولیدی . برای هدف این نشریه برابر می شود با خروجی خالص دستگاه برق (در شرایط حداکثر بار)ضربدر (اختلاف بین هزینه برق و مقدار پیک انرژی) ضربدر (پیک ساعات عمل).

فهرست اشکال

شکل ۱ . پتانسیل مقدار پیک انرژی متغیر بصورت تابعی از ساعات عمل سالیانه

شکل ۲ . راستای عملکرد دستگاه

شکل۳ . عملکرد سیکل ترکیبی متغیر با دمای هوای محیط

شکل۴ . نمودار ساده شده رطوبت

شکل۵ . اثر خنک کننده تبخیری روی خروجی در دسترس ــ ۸۵ در صد مؤثر

شکل۶. طراحی خنک کننده گروه media

شکل۷. مقدار تبخیر برای MS۶۰۰۱(B) - ۸۵ در صد مؤثر

شکل۸ . نمودار ضریب اشباع

شکل۹ . سیستم فاگر

شکل۱۰. نمودار سیستم LM۶۰۰۰ PC SPRINT

شکل۱۱. فرآیند خنک کردن ورودی

شکل۱۲. نمودار جعبه ای گرمای سوخت در حال کار

شکل۱۳. سیستم گرم کردن سوخت گاز استاندارد

شکل۱۴. قیمت های پیش بینی شده سوخت / برق

شکل۱۵. پیش بینی قیمت های سوخت

فهرست جداول

جدول ۱ . مرحله انتخابی سیستم بالابرنده کیفیت برق

جدول ۲. اثر تغییر هزینه سرمایه گذاری روی برآورد اقتصادی

فهرست نمودارها

نمودار۱. فهرست عملکرد بهینه شده

نمودار۱a. خلاصهCOE چند مبحث اقتصادی

نمودار۱b. رتبه بندی COEچند مبحث اقتصادی

نمودار۲.افزایش پیک برق در مقابل ساعات عمل کردن (بوسیله پیک برق تناوبی)

نمودار۳. نمودار ریسک در مقابل مبادله سود (NPV پایه)

Fuel Cost = $2.50 per MBtu - HHV

500 hrs @ 9.0¢			1000 hrs @ 9.0¢		
Case #	*Value vs. Base ($ MM - NPV)*	*Rank*	*Case #*	*Value vs. Base ($MM - NPV)*	*Rank*
15	$11.50	1	15	$28.29	1
14	$10.33	2	14	$28.29	2
28	$7.72	3	19	$18.89	3
8	$5.48	4	28	$16.72	4
19	$4.09	5	11	$14.60	5
6	$3.63	6	21	$13.91	6
16	$2.95	7	17	$12.65	7
9	$2.75	8	29	$12.53	8
11	$1.78	9	8	$12.29	9
7	$1.68	10	10	$11.70	10
29	$1.42	11	23	$10.04	11
1	$1.07	12	6	$9.49	12
17	$1.03	13	13	$8.70	13
21	$0.69	14	18	$7.67	14
10	($0.33)	15	25	$7.54	15
26	($0.93)	16	26	$7.11	16
18	($0.94)	17	16	$6.90	17
25	($1.61)	18	9	$6.65	18
13	($2.39)	19	12	$5.86	19
20	($3.47)	20	7	$5.47	20
4	($3.56)	21	20	$4.72	21
5	($4.24)	22	1	$4.39	22
12	($4.60)	23	4	$2.49	23
23	($6.35)	24	5	$2.17	24
2	($6.95)	25	22	$1.03	25
3	($7.75)	26	30	($0.35)	26
22	($10.44)	27	24	($2.83)	27
24	($12.87)	28	2	($4.41)	28
30	($16.97)	29	3	($4.96)	29
27	($23.45)	30	27	($11.04)	30

Fuel Cost = $2.50 per MBtu - HHV

500 hrs @ 6.0¢			1000 hrs @ 6.0¢		
Case #	*Value vs. Base ($ MM - NPV)*	*Rank*	*Case #*	*Value vs. Base ($MM - NPV)*	*Rank*
28	$3.93	1	15	$12.21	1
15	$3.46	2	14	$11.88	2
8	$2.61	3	28	$9.14	3
14	$2.13	4	8	$6.54	4
6	$1.17	5	19	$5.39	5
16	$1.13	6	6	$4.56	6
9	$1.04	7	16	$3.27	7
7	$0.08	8	9	$3.23	8
1	($0.31)	9	11	$3.21	9
19	($2.67)	10	7	$2.27	10
11	($3.92)	11	21	$1.81	11
29	($3.98)	12	29	$1.73	12
17	($4.65)	13	1	$1.63	13
26	($5.01)	14	17	$1.29	14
18	($5.09)	15	10	$0.86	15
21	($5.36)	16	18	($0.62)	16
10	($5.75)	17	25	($0.91)	17
25	($5.84)	18	26	($1.06)	18
4	($6.44)	19	13	($1.47)	19
20	($7.27)	20	20	($2.89)	20
5	($7.45)	21	4	($3.27)	21
13	($7.47)	22	12	($3.86)	22
2	($8.38)	23	5	($4.26)	23
12	($9.46)	24	23	($5.45)	24
3	($9.48)	25	2	($7.26)	25
23	($14.10)	26	3	($8.42)	26
22	($16.03)	27	22	($10.13)	27
24	($18.09)	28	24	($13.27)	28
30	($25.29)	29	30	($16.99)	29
27	($28.74)	30	27	($21.61)	30

از روي چندين سناريوي اقتصادي COE : درجه بندي هاي b\ضيميمه

500 hrs @ 12.0¢		
Case #	Value vs. Base ($ MM - NPV)	Rank
15	$19.54	1
14	$18.54	2
28	$11.50	3
19	$10.84	4
8	$8.35	5
11	$7.47	6
29	$6.82	7
21	$6.74	8
17	$6.71	9
6	$6.10	10
10	$5.08	11
16	$4.76	12
9	$4.46	13
7	$3.28	14
18	$3.20	15
26	$3.15	16
13	$2.69	17
25	$2.61	18
1	$2.45	19
23	$1.39	20
20	$0.33	21
12	$0.26	22
4	($0.68)	23
5	($1.02)	24
22	($4.86)	25
2	($5.53)	26
3	($6.01)	27
24	($7.65)	28
30	($8.65)	29
27	($18.17)	30

1000 hrs @ 12.0¢		
Case #	Value vs. Base ($ MM - NPV)	Rank
14	$44.69	1
15	$44.37	2
19	$32.40	3
21	$26.00	4
11	$26.00	5
23	$25.52	6
28	$24.29	7
17	$24.00	8
29	$23.33	9
10	$22.54	10
13	$18.86	11
8	$18.03	12
30	$16.30	13
25	$15.99	14
18	$15.96	15
12	$15.58	16
26	$15.28	17
6	$14.41	18
20	$12.32	19
22	$12.20	20
16	$10.53	21
9	$10.07	22
7	$8.67	23
5	$8.61	24
4	$8.25	25
24	$7.61	26
1	$7.15	27
27	($0.47)	28
3	($1.50)	29
2	($1.55)	30

Fuel Cost = $3.50 per MBtu - HHV

500 hrs @ 9.0¢			1000 hrs @ 9.0¢		
Case #	*Value vs. Base ($ MM - NPV)*	*Rank*	*Case #*	*Value vs. Base ($ MM - NPV)*	*Rank*
15	$8.85	1	15	$22.98	1
14	$7.02	2	14	$22.55	2
28	$6.92	3	28	$15.10	3
8	$4.88	4	19	$15.00	4
6	$3.10	5	11	$11.55	5
16	$2.42	6	8	$11.05	6
9	$2.34	7	21	$10.36	7
19	$2.14	8	29	$8.83	8
7	$1.32	9	17	$8.70	9
1	$0.79	10	10	$8.67	10
11	$0.26	11	6	$8.40	11
29	($0.42)	12	16	$5.84	12
17	($0.94)	13	9	$5.80	13
21	($1.08)	14	13	$5.69	14
10	($1.84)	15	23	$5.07	15
18	($2.33)	16	25	$5.02	16
26	($2.47)	17	18	$4.89	17
25	($2.86)	18	7	$4.73	18
13	($3.89)	19	26	$4.02	19
4	($4.50)	20	1	$3.83	20
20	($4.64)	21	12	$2.86	21
5	($5.42)	22	20	$2.37	22
12	($6.09)	23	4	$0.62	23
2	($7.60)	24	5	($0.20)	24
3	($8.65)	25	22	($2.83)	25
23	($8.83)	26	2	($5.70)	26
22	($12.37)	27	30	($6.42)	27
24	($14.95)	28	3	($6.77)	28
30	($20.00)	29	24	($7.00)	29
27	($29.68)	30	27	($18.81)	30

از روي چندين سناريوي اقتصادي COE : درجه بندي هاي b۱ادامه ضميمه

Fuel Cost = $3.50 per MBtu - HHV

500 hrs @ 6.0¢			1000 hrs @ 6.0¢		
Case #	Value vs. Base ($ MM - NPV)	Rank	Case #	Value vs. Base ($ MM - NPV)	Rank
28	$3.14	1	28	$7.53	1
8	$2.00	2	15	$6.90	2
15	$0.81	3	14	$6.14	3
6	$0.64	4	8	$5.30	4
9	$0.63	5	6	$3.48	5
16	$0.60	6	9	$2.38	6
7	($0.28)	7	16	$2.21	7
1	($0.59)	8	7	$1.53	8
14	($1.19)	9	19	$1.49	9
19	($4.61)	10	1	$1.07	10
11	($5.44)	11	11	$0.15	11
29	($5.82)	12	21	($1.74)	12
18	($6.48)	13	29	($1.97)	13
26	($6.56)	14	10	($2.17)	14
17	($6.62)	15	17	($2.65)	15
25	($7.08)	16	18	($3.40)	16
21	($7.13)	17	25	($3.43)	17
10	($7.26)	18	26	($4.15)	18
4	($7.38)	19	13	($4.48)	19
20	($8.44)	20	4	($5.14)	20
5	($8.64)	21	20	($5.23)	21
13	($8.97)	22	5	($6.63)	22
2	($9.03)	23	12	($6.86)	23
3	($10.39)	24	2	($8.56)	24
12	($10.96)	25	3	($10.23)	25
23	($16.57)	26	23	($10.41)	26
22	($17.95)	27	22	($14.00)	27
24	($20.17)	28	24	($17.45)	28
30	($28.32)	29	30	($23.07)	29
27	($34.96)	30	27	($29.38)	30

Fuel Cost = $3.50 per MBtu - HHV

500 hrs @ 12.0¢			1000 hrs @ 12.0¢		
Case #	Value vs. Base ($ MM - NPV)	Rank	Case #	Value vs. Base ($ MM - NPV)	Rank
15	$16.89	1	15	$39.07	1
14	$15.22	2	14	$38.96	2
28	$10.71	3	19	$28.51	3
19	$8.89	4	11	$22.95	4
8	$7.75	5	28	$22.68	5
11	$5.95	6	21	$22.45	6
6	$5.56	7	23	$20.56	7
29	$4.98	8	17	$20.06	8
21	$4.97	9	29	$19.63	9
17	$4.74	10	10	$19.51	10
16	$4.23	11	8	$16.79	11
9	$4.05	12	13	$15.85	12
10	$3.57	13	25	$13.48	13
7	$2.92	14	6	$13.32	14
1	$2.17	15	18	$13.18	15
18	$1.81	16	12	$12.58	16
26	$1.61	17	26	$12.19	17
25	$1.37	18	30	$10.22	18
13	$1.19	19	20	$9.98	19
20	($0.84)	20	16	$9.47	20
23	($1.08)	21	9	$9.22	21
12	($1.23)	22	22	$8.34	22
4	($1.62)	23	7	$7.94	23
5	($2.21)	24	1	$6.59	24
2	($6.17)	25	4	$6.38	25
22	($6.79)	26	5	$6.24	26
3	($6.92)	27	24	$3.44	27
24	($9.73)	28	2	($2.85)	28
30	($11.68)	29	3	($3.31)	29
27	($24.39)	30	27	($8.23)	30

از روي چندين سناريوي اقتصادي COE : درجه بندي هاي b۱ادامه ضميمه