آکادمی نیروگاه

افزایش کارایی بارگیری ژنراتور توربین گازی در تابستان

تهیه و تنظیم: سید علیرضا عالی مرد

Power Plant Academy

www.powerplantac.com

فصل اول: رهنمودهایی برای طراحی و کاربری موتور- ژنراتور

انتخاب موثر و کاربردی یک ژنراتور نیازمند آگاهی قوی از اساس کار آن و داشتن آگاهی از مبادی سوختی آن و نیازمندی های NECمیباشد. پکیجهای ژنراتوری-موتوری اکنون کاربردهای بیشماری دارندو اغلب با همان کیفیت و روانی به کار خود ادامه میدهند.

خیلی از سیستم های موتوری-ژنراتوری برای انسانها ایمنی و محافظت مناسب را در کاربری هایی همچون ساختمانهای اداری و هتلها و مکانهای ساخت و مونتاژ و تاسیسات دولتی فراهم مینمایند.

بیمارستانها و اطاقهای پرستاری نیاز ویژه و حیاتی به برق دارند و سیستم های برقی اضطرار پاسخگوی این نیازمندی میباشد.

کاربردهای دیگر:

بصورت همزمان سیستم های موتوری-ژنراتوری میتوانند برای تامین برق تاسیسات یک مکان در زمان PEAK مصرف یا در هنگامی که مکان مورد نظر نیاز به ظرفیت بالاتری دارد مورد

استفاده قرار گیرند.چنین کاربری بخاطر کاستن فوق العاده و بازگشت سرمایه هزینه یک سیستم برقی اظطراری را مکررا تایید میکند. COGENERATION یک سیستم دیگر ذخیره انرژی و تکنیک کاهش هزینه میباشد که از گرمای هدر رفته از مجموعه های ژنراتوری-موتوری جهت انجام کاربری های مفید استفاده میکند.

چنین انرژی الکتریکی مفیدی ممکن است برگرفته از کمپانی های بازرگانی برقی یا بصورت مستقل از یک تولید کننده برق (ژنراتور)(IPP) بدست آمده باشد.قانون به یک IPP (ژنراتور) اجازه چرخش میدهد تا انرژی الکتریکی را از طریق خطوط انتقال به هر مصرف کننده برساند.در نتیجه طرح های راهبردی بازرگانی بایستی منطبق با این تغییرات باشند.وقتی چنین تاسیساتی که باعث پایداری و بقای انرژی میشوند تکمیل و اجرا میگردند باعث کاستن هزینه و بازگشت سرمایه به مکان مورد نظر و ساختار دولتی میگردند.بنابراین نه تنها هزینه انرژی کاهش میابد بلکه هزینه های اصلی دوباره تخفیف داده میشوند و باعث افزایش سرمایه اولیه میگردند.تکنولوزی های اصلی همچون تاسیسات کامپیوتری "شبکه های ارتباطی و مراکز تحقیقاتی مدرن و آزمایشگاهای پیشرفته متقاضی افزایش مقدار تجهیزات برقی (اضطراری)میباشند.بعضی از چنین وسایلی نیازمند برق مطمین و بدون نوسان میباشند که برای این منظور دستگاه های موتوری-ژنراتوری چند گانه که متناسب با تغییرات گوناگون سیستم ها و تجهیزات محافظتی میباشند پیشنهاد میگردند.

ژنراتور سنکرون:

خیلی از مکانها امروزه بخاطر تطبیق پذیری و قابلیت اطمینان و توانایی عملکرد مستقلانه ژنراتور سنکرون از این وسیله استفاده میکنند.

بسیاری از ژنراتور های سنکرون مدرن دارای طراحی میدان دورانی چرخنده میباشند این به این معناست که سیم پیچی آرمیچر ایستا میباشد و میدان در حال دوران میباشد.بنابراین برق تولید شده میتواند مستقیما از سیم پیچی آرمیچر گرفته شود.مقدار دقیق ولتاژAC تولید شده توسط ماشین سنکرون توسط تغییرات جریان در سیم پیچی های میدان DC کنترل میشود(زمانیکه فرکانس توسط سرعت چرخش کنترل می گردد).قدرت خروجی توسط گشتاور حاصله از شفت ژنراتور توسط حرکت موتور کنترل میشود.در این حالت ژنراتور سنکرون کنترل مفیدی را بر قدرت تولیدی اعمال مینماید.

محرک ژنراتور

همه ژنراتورهای سنکرون مدرن از یک جاروبک محرک که ذاتا یک ژنراتور AC کوچک در محور اصلی میباشد استفاده میکنند.ولتاژ AC تولید شده توسط یک یکسو کننده سه فاز چرخان که روی شفت نصب گردیده یکسو میگردد.

بنابراین ولتاژ DC بدست میاید و به میدان اصلی ژنراتور که روی محور اصلی قرار دارد اعمال میگردد.رگولاتور ولتاژ جهت کنترل جریان میدان محرک فراهم گردیده است و در این حالت ولتاژ میدان میتواند صریحا کنترل گردد و منجر به پایداری و کنترل خوب ولتاژ خروجی گردد.بخاطر مشکلات جدید بارهای غیر خطی که هارمونیک های ناخواسته را در یک سیستم برق رسانی ایجاد مینماید بعضی از تولید کنندگان ژنراتور یک ژنراتور اضافی رابه منظور ایجاد یک میدان مغناطیسی برای جاروبک محرک که به یک آهنربای دایم مجهز گردیده فراهم نموده اند(PME)چنین سیستمی تا حد زیادی اعوجاج هارمونیکی را کاهش میدهد زیرا ولتاژ محرک ناشی از آهنربا میباشد.در بعضی طرح ها PME به عنوان محرک اصلی عمل مینماید اگرچه آن

واقعا در مفهوم واقعی یک محرک نیست.زمانیکه یک ژنراتور را انتخاب میکنید در مورد خاصیت آهنربایی محرک آن تحقیق نمایید.

تنظیم ولتاژ

ولتاژ خروجی یک ژنراتور سنکرون توسط تحریک در سیم پیچی میدان کنترل میشود.برای کنترل رگولاتور ولتاژ ژنراتور ولتاژ خروجی را اندازه میگیرد و آن را با مقدار استاندارد ولتاژ مرجع که از یک دیود زنر بدست میاید مقایسه میکند که این دیود پیوسته ولتاژ خروجی را اندازه میگیرد و به منظور برقراری ولتاژ خروجی و مقدار نامی آن جریان بالا یا پایین تحریک را تنظیم مینماید.

اگر میزان بار تغییر کند تحریک به منظور حفظ مقدار ثابت ولتاژ بطور پیوسته تنظیم میشود.

فرکانس

فرکانس یک جریان AC تولید شده بستگی به دو عامل دارد:تعداد قطبهای ایجاد شده در ماشین (N) و سرعت چرخش (RPM)که توسط فرمول زیر محاسبه میشود:

$$F=(RPM*N)/120$$

که:$RPM=(F*120)/N$

به عنوان مثال یک ژنراتور دو قطبی بایستی rpm=3600 باشد برای ایجاد فرکانس 60 هرتز.و یک ژنراتور 4 قطبی بایستی 1800 دور در یک دقیقه بچرخد تا فرکانس 60 هرتز تولید کند.برای ایجاد فرکانس 50 هرتز در خروجی سرعت چرخش بایستی کمی کمتر شود

زمانیکه فرکانس یک مقدار ثابت میباشد(50 یا 60 هرتز)کنترل سرعت ژنراتور ضروری میگردد.که این توسط ایجاد کنترل دقیق rpm محرک اولیه صورت میپذیرد که توسط یک گاورنر انجام میشود.

مشخصات

وقتی یک ژنراتور راانتخاب میکنید بایستی فاکتورهای زیادی را در نظر بگیرید.

ملاحظات و فاکتورهای مهم شامل:

-نوع ژنراتور-rpm و فرکانس

-مکان و محوطه مورد نیاز

-میزان کیلووات و کارایی

-تعداد فازها و ضریب قدرت

-کنترلر و سوییچ گیر

-سوییچینگ انقالی

-نوع کار و شرایط راه اندازی

هارمونیک ها

زمانیکه بار از نوع غیر خطی باشد(منبع تغذیه کامپیوتر"درایوهای متغیر فرکانسی"بالاست هـای الکترونیکی یـا سـایر تجهیـزات الکترونیکـی مخصوصـا آنهاییکـه دارای منـابع تغذیـه سـوییچی میباشند) بایستی به سازنده ژنراتور پیشنهاد نمود تا پله های مناسبی را در نظر بگیرد تا از گـرم شدن تجهیزات یا سـایر مشـکلاتی کـه در اثـر وجـود هارمونیـک هـا بوجـود میایـد جلـوگیری نمود.برخی از توکید کنندگان ژنراتور زنراتورهای با امپدانس پایین را توصـیه میکننـد کـه دارای طراحی پیشرفته سیم پیچی میباشند تا از اثرات جریانات هارمونیکی تولید شده بکاهند.

ژنراتورهای القایی

ساخت یک ژنراتور القایی ذاتا شبیه ساخت یک موتور القایی است.هر جفتشان دارای روتور قفس سنجابی و سیم پیچی استاتور میباشند.وقتی چنین ماشینی حرکت میکند و با سرعتی بـیش از سرعت سنکرون میچرخد تبدیل به یک ژنراتور میشود و زمانیکـه بـا سـرعت کمتـر از سـنکرون

میچرخد عملکرد موتوری خواهد داشت.چون ژنراتور القایی exiter ندارد بایستی بصورت پارالل با وسیله مورد نظر بکار رود.یک ژنراتور القایی گزینه مناسبی برای استفاده در هنگام طراحی سیستم های cogeneration میباشد البته در جاییکه آن بصورت پارالل با وسیله مورد نظر بکار رود.این نوع ژنراتورها امتیازات ویژه ای نسبت به ژنراتور سنکرون دارند .برای مثال ولتاژ و فرکانس توسط وسیله مورد نظر کنترل میشوند بنابراین نیازی به رگولاتور ولتاژ و فرکانس نمیباشد به علاوه ساخت ژنراتورها با قابلیت بالایی انجام میپذیرد و هزینه نگهداری پایینی دارد .همچنین رله های محافظتی و کنترلی کمتری نیاز دارد.مهمترین اشکال آن این است که در حالت نرمال به تنهایی نمیتواند به عنوان ژنراتور stand by یا ژنراتور اضطرار عمل کند.

انواع موتور محرک:

موتورهای بنزینی بالاتر از 100kw اقتصادی میباشند و هزینه های اولیه اش نسبتا پایین میباشد و قابلیت استارت خوبی دارند.موتورهای دیزلی بخاطر قابلیت اطمینانشان و هزینه پایین نگهداری و عملکرد اقتصادی شان و هزینه اولیه پایین برای ظرفیت های بالاتر محبوبترند.برای کاربرد های برق اضطراری موتورهای دیزلی در سایز های کمتر از 1kw تا حدود 2000kw ایجاد گردیده اند.موتورهای دیزلی میتوانند 2 یا 4 مرحله ای باشندو با هوا یا مایع خنک شوند.هزینه اولیه برای موتورهای دیزلی بیشتر از موتورهای بنزینی و گازی است.در بعضی موارد این موتورها به گونه ای ساخته میشوند که هم بصورت دیزلی و هم گازی کار کنند.

نصب واحدهای بزرگ برق اضطراری (1000 -2000 kw)معمولا بخاطر تجهیزات فونداسیون "لرزه گیرها "صدا خفه کن ها "خنک کننده های آبی و تجهیزات راه اندازی پر هزینه میباشد.ضمنا ملاحظات ویژه ای برای استفاده در دمای زیر 40 درجه فارنهایت باید در نظر گرفته شود.

موتورهای گازی با موتورهای دیزلی در خیلی موارد قابل مقایسه میباشند به جزحالتیکه فراهم کننده گاز در معرض انقطاع میباشد هنگامیکه خطوط تغذیه شکسته یا قطع گردند.بهر حال یک مخزن گاز پروپان میتواند به منظور تامین منبع سوختی دیگر در هنگامی که مقدار سوخت کم باشد مورد استفاده قرار گیرد.توربین های گازی که موفقیت قابل قبولی را در حجم های سنگین باری بدست آورده اند از حدود 500kw به بالاتر میباشند. مزیت اصلی شان سایز کوچک "وزن سبک "و عدم لرزش میباشد.آنها خودشان را در هنگام نصب در طبقات بالاتر و پشت بامها خوب وفق میدهند.سیستم خنک کاری آبی مورد نیاز نمیباشد هرچند مقدار زیاد خروجی نیازمند نصب دودکش بزرگ باشد.اگرچه سطوح صوتی بالایی دارند اما صدابندها به سادگی قابل نصب میباشند.آنها دارای سرعت استارت نسبتا پایینی میباشند مگر آنکه دارای استارت کمکی باشند مانند کمپرسور های هوایی که با موتورهای پنوماتیکی به حرکت در میایند.بعضی از دستگاههای به حرکت در آورنده توربین توانایی اشتعال با انواع مختلف سوخت یا حتی مایع یا گاز را دارند.

فاکتورهایی در انتخاب سوخت

در دسترس بودن سوخت خیلی اوقات نوع دستگاه ژنراتوری را تعیین میکند.اگر یک ژنراتور در یک مکان ایزوله در جاییکه تسهیلات عمومی موجود نمیباشد قرار گیرد LPG یا سوخت دیزل انتخابی منطقی میباشد.اگر واحد مورد نظر در مکان پر خطر از نظر زمین لرزه ای قرار گیرد منبع سوختی محلی باید در نظر گرفته شود.موتورهای دو گانه سوز مانند گاز طبیعی و پروپان معمولا برای این نیاز در نظر گرفته میشوند.آلودگی هوا به سبب گازهای خروجی یک مساله جدی میباشد.همچنین بدلیل قانون پاکیزگی هوا دستگاه های دوگانه سوز که قابلیت اشتعال با گاز طبیعی و پروپان را دارند بخاطر انتشار گازهای سمی کمتر نسبت به موتورهای دیزلی ارجح ترند.هنگام انتخاب یک دستگاه دوگانه سوز میزان خروجی هریک از سوخت هایش را چک

نمایید KW یک مجموعه موتوری-ژنراتوری در هنگام استفاده از گاز طبیعی کمتر از زمان استفاده از گاز پروپان میباشد.سوخت های گازی پاک میباشند و کربن کمتری تولید میکنند و هزینه نگهداری موتورهای گازی در مقایسه با موتورهای بنزینی و دیزلی کمتر است.اگرچه LPG صدمات زیادی را در مقایسه با هر سوخت دیگری ایجاد میکند زیرا هر بخاری که آزاد میگردد سنگین تر از هوا بوده و در طبقات زیرین جمع شده و خطر انفجار ایجاد مینماید.هر سیستم سوختی بایستی بر اساس کدهای کاربردی (APPLICABLE CODE) نصب گردد و این مطلب به خصوص در مورد سیستم های LPG بسیار مهم میباشد. تصمیم اخیر EPA شامل استانداردهای صریح و شدیدی مبنی بر تانک های سوختی است. تانک سوختی تایید شده LPG بایستی قادر به ذخیره پروپان مایع باشد.و همچنین شامل والو های قطع مناسب و دریچه های فشاری میباشد.یک تانک LPG بایستی در خارج از محیط مورد نظر و بدور از سایر تجهیزات یا شعله و جرقه یا سیم های الکتریکی نصب گردد.

مجموعه های موتوری-ژنراتوری خیلی کوچک بنا به دلایلی فقط با بنزین کار میکنند.ژنراتورهای کوچک (تا حدود 100KW) که بصورت پرتابل مورد استفاده قرار میگیرند(مثلا در محلهای دردست ساخت"برق اضطرار موبایل" موتورهای خانگی یا اسباب آلات سرگرمی و...) در چنین کاربردهایی سوخت در دسترس موجود بسیار مهم است.

همچنین موتورهای بنزینی در هوای سرد سریع تر از موتورهای دیزلی استارت میزنند.بنزین بخاطر خطر آتش سوزی ناشی از نگهداریش بندرت در منابع سوختی فرعی استفاده میشود و نگهداری بلند مدتش میتواند برای موتور خطرناک باشد.

در خیلی از موارد سوختهای دیزلی بخاطر ساده بودن نگهداریشان در محل و مشکلات کمتر نگهداری بلند مدت و کم بودن خطرات آتش سوزیشان پیشنهاد میگردند.همچنین موتورهای

دیزلی مدرن مزایای زیادی در مقایسه با محرک های اولیه دارند.یک عیب سوخت دیزلی فراریت کم آن در دمای پایین محیط میباشد .این مشکل با فراهم شدن دیزلهای مجهز به کنترل ترمواستاتیکی که دمای محفظه آب را در 90 درجه فارنهایت یا بالاتر نگهداری میکند برطرف میگردد.

قدرت خروجی هر موتور متناسب با lbs سوخت محترق در واحد زمان میباشد.در مورد دیزل هر lb سوخت نیازمند 17lb هوا برای تکمیل احتراق میباشد.وقتی که هوای بیشتری به داخل سیلندر وارد میگردد سوخت بیشتری محترق میگردد و قدرت بیشتری حاصل میگردد.

چندین متد جهت افزایش قدرت موتور مطرح میباشند.معمول ترین روش turbocharging(super charging) و خنک سازی مجدد و میزان سازی(تنظیمات) دهانه ورودی هوا میباشد.توربو شارژرها از فشار گاز خروجی جهت حرکت توربین یا کمپرسور در سیستم دهانه ورودی هوای اتاق احتراق استفاده میکنند.این هوای اضافی ورودی به محفظه احتراق باعث افزایش قدرت خروجی میگردد.

دوباره خنک سازها از مبدل های گرمایی در سیستم احتراق هوا جهت کاهش دمای هوا استفاده میکنند در نتیجه تراکم هوا بیشتر میشود و اکسیژن بیشتری برای احتراق فراهم میگردد.

گاورنرها:

یک گاورنر برای یک دستگاه موتوری-ژنراتوری کنترل سرعت موتور را بر عهده دارد تا حرکت ژنراتور AC انجام پذیرد و فرکانس مناسب قدرت خروجی AC فراهم گردد.چندین نوع گاورنر موجود میباشد اگرچه برای کاربرد برق اضطراری یک گاورنر آسنکرون انتخاب معمول میباشدکه آن سرعت موتور را کنترل میکند در نتیجه آن در یک مقدار ثابت از بی باری تا بارداری کامل باقی می ماند و فرکانس برق AC خروجی ژنراتور را ایجاد میکند.

یک سیستم مدرن دارای دو جز, اولیه میباشد:یک کنترل سرعت الکترونیکی و یک محرک که سرعت موتور را تنظیم میکند. کنترل سرعت الکترونیکی سرعت واقعی موتور را حس نموده و یک سیگنال فیدبکی را به محرک مکانیکی /هیدرولیکی ارسال مینماید که مکان دریچه هوا یا بنزین یا دریچه کنترل سوخت را به منظور حفظ دقیق سرعت موتور تغییر میدهد.

سیستم های کنترلی ونظارتی

تعداد زیادی از تجهیزات "وسایل ایمنی و کنترلی برای کاربرد های خاص موجود میباشند.که اینها شامل سوییچ های تست بار "رله های استارت موتوری"زمان سنج ها یا مدار استارت موتوری و ... میباشند.رله های آلارمی شامل رله های اضافه بار "اضافه ولتاژ یا کاهش آن"رله های جریان معکوس و رله های حفاظتی اتصال کوتاه با زمین میباشند. حفاظت موتور شامل آلارمهایی برای کاهش سوخت "کاهش روغن "کاهش آب خنکسازو افزایش بیش از حد دما میباشد.

سیستم همزمان سازی کنترلرها اجازه همزمان سازی اتوماتیک دو یا چند ژنراتور را میدهد نشانه های عینی همزمان سازی در سیستم کنترلی ژنراتورها و سوییچ گیرهای موازی یافت میشود.به علاوه یک کنترلر منطقی قابل برنامه ریز(PLC) با کیبورد ممکن است برای برنامه ریزی سیستم همزمانساز ولتاژ/فاز "کنترل سرعت و فرکانس "مناسب باشد.

کاربرد مشخص NEC

کد ملی الکتریکی (NEC)راهنمایی هایی را برای نصب مطمین و آسان سیستم های موتوری-ژنراتوری که در محل نصب میشوند انجام میدهد.

کدهای محلی ممکن است تغییر کنند و در هنگام طراحی طبقات جدیدتر بایستی دوباره تکرار شوند.

با هر نوع کاربردی تجهیزات زیادی در هنگام نصب یک سیستم برقی محلی بکار گرفته میشوند.سیستم انتخاب شده و تجهیزاتش بستگی به نوع محل بکار گرفته شده"نوع فعالیت و کاربردآن دارد.

ملاحظات مهم دیگر شامل بودجه در نظر گرفته شده "درجه ایمنی و قابلیت اطمینان مطلوب سیستم "کدها و استانداردها"و بکارگیری تکنولوژی های مورد نیاز برای کاربری میباشد.

کدهای کاربری بستگی به هدف سیستم بکار گرفته شده دارد.به علاوه این قوانین به عنوان راهنمای عالی که به طراحی موثر و انتخاب سیستم ونصب آن کمک میکند به کار گرفته میشوند.

فصل دوم:دلایل گرم شدن ژنراتور

در این قسمت سعی نداریم تا اصول کارکرد ژنراتورها را از لحاظ الکتریکی بررسی کنیم بلکه فقط تلاش بر آن است که دلایل گرم شدن ژنراتور و تاثیر این حرارت اضافی را بر روی راندمان آن بررسی نماییم.

تلفات انرژی که در ژنراتورها صورت میگیرد به چند دلیل ایجاد میشوند.

الف:عبور جریان از سیم پیچ (WINDING)آرمیچر(ARMATURE) ایجاد حرارت میکند.اگر R مقاومت الکتریکی آرمیچر (که شامل سیم پیچ های سری و موازی میباشد)و I جریان الکتریکی که از آن عبور میکند باشد مقدار حرارت تولید شده برابر با RI^2 خواهد بود.این تلفات انرژی اصطلاحا افت اهمی نامیده میشود.

ب:افت انرژی در زغالها (BRUSH) بخاطر جمع شدن جریان مساوی VI است که I جریان الکتریکی و V کل افت ولتاژ در زغالهای مثبت و منفی میباشد.

علاوه بر افتهای بالا اتلاف انرژی به صورتهای دیگر نیز در ژنراتور بوجود میآید که به بررسی آنها میپردازیم.

دو نوع اصطکاک بخاطر حرکت آرماتور درون ژنراتور وجود دارد:

1-اصطکاک روغنی (Lubricated friction)

2-اصطکاک خشک (Dry friction)

که اصطکاک روغنی درون یاتاقانها (Bearings) و اصطکاک خشک بین زغالها و تغییر دهنده جریان(Commutator)بوجود میاید.

سرعت چرخش ژنراتور بستگی به باری(load)دارد که از آن کشیده میشود.ولی در ژنراتور مولد جریان (A.C)بخاطر ثابت بودن فرکانس شبکه نباید تغییراتی در سرعت آن وجود داشته باشد.

معمولا باری که برروی یاتاقانها و زغالها وجود دارد بستگی به شدت جریان عبوری ندارد.بنابراین در حالت بار کامل (FULL –LOAD)و حالت بدون بار بودن (NO-LOAD)افتهای ناشی از اصطکاک در ژنراتور با هم فرق چندانی ندارند.پس برای ژنراتورهای مولد(AC)میتوان فرض کرد که افتهای ناشی از اصطکاک ثابت میباشند.افتهایی نیز در هسته آهنی آرماتور بخاطر جریان های ادی(EDDY CURRENTS) و هیسترزیس(HYSTERESIS)بوجود میایند.

اگرچه هسته لایه-لایه ای و فلزی ترانسفورماتور که از فولاد سیلیکونی با مقاومت بالا ساخته شده است این افتها را در استاتور کاهش میدهد ولی حرارت ناشی از این افتها قابل توجه است.افتهای هیسترزیس به خاطر عوض شدن جهت ممان مغناطیسی در فولاد بدلیل تغییرات شار ایجاد می شوند و حرارت زیادی را هم در روتور و هم در استاتور ایجاد می کنند.ثابت شده است که این دو نوع افت بستگی چندانی با بار اعمال شده ندارند.

با توجه به مطالب بالا اگر که اختلاف پتانسیل دو سر پایانه زنراتور برابر V و شدت جریان عبوری از آن I باشد راندمان عملکرد ژنراتور برابر است با:

$$\eta = VI / VI + RI^2 + VI + W$$

که در معادله بالا W جمع افتهای ناشی از اصطکاک "هیسترزیس و جریان های ادی میباشد. طبق معادله بالا افتهای ذکر شده نقش مهمی را در راندمان ژنراتور بازی میکنند.لازم به توضیح است که این افتها خود را به صورت حرارت اضافی در ژنراتور بروز میدهند.تقلیل این افتها یکی از اهداف طراحان صنعتی میباشد.از طرف دیگر حرارت ایجاد شده باید به طریق مناسبی از سیم پیچهای روتور"استاتور و یاتاقانها دفع شود.در ژنراتورهای مدرن استاتور به نحوی ساخته میشود که نصف یا تعداد بیشتری از میله های مسی تشکیل دهنده سیم پیچ های استاتور توخالی باشند.با عبور دادن یک جریان مایع خنک کننده میتوان موجب خنک شدن استاتور گردید.

سیستم های مختلف خنک سازی ژنراتور

زنراتورهای مدرن راندمانی حدود 98.5% دارند.اگرچه در این گونه ژنراتورها مقدار افت حرارتی پایین است ولی همین مقدار کم نسبت به میزان توان خروجی مقدار زیادی میشود که این افتها بایستی بطور مناسب از ژنراتور خارج گردند.بعضی از روشهای مناسب جهت خنک نمودن ژنراتور ها به قرار زیر است:

الف-سیستم خنک سازی هیدروژنی(Hydrogen cooling system)

یکی از سیستم های متداول برای خارج کردن حرارت اضافی در ژنراتورها سیستم خنک کاری هیدروژنی میباشد.

در این نوع سیستم ها محفظه اصلی زنراتور را از هیدروژن پر کرده و محفظه را آب بندی میکنند.هیدروژن درون محفظه توسط پره هایی که بروی روتور ژنراتور نصب شده اند عمل خنک سازی را انجام میدهد.

هیدروژن درون محفظه توسط یک مبدل حرارتی که بوسیله آب خنک میشود و به صورت افقی یا عمودی با محفظه در تماس است خنک میگردد.مبدل حرارتی معمولا شامل تعداد بسیار زیادی لوله غیر آهنی میباشد که احتمالا پرده هایی بر روی لوله ها نصب میشود.این سیستم معمولا دارای سیستم چرخش آب دوطرفه میباشد بطوریکه درگاه ورودی و خروجی آب در یک طرف قرار دارند.آب استفاده شده درون مبدل خود در یک کولر هوایی یا یک برج خنک کن حرارت خود را به محیط پس میدهد.انواع دیگر مبدل نیز که با هوا کار میکنند نیز در صنعت استفاده میشود.

هیدروژن به عنوان سیال کاری نسبت به هوا و گازهای دیگر مزایای بسیاری دارد که عبارتند از :

الف:چگالی هیدروژن در مقایسه با سایر گازها پایین ترین است و چیزی حدود 1/14 هوا میباشد.حتی در فشارهای چند برابر شده (4 تا 5 بار)همراه با ناخالصیهای مجاز گازها چگالی هیدروژن حدود نصف چگالی هوا در دما و فشار معمولی است.

ب:قابلیت انتقال حرارت هیدروژن در شرایط یکسان تقریبا دو برابر هوا میباشد.و با افزایش فشار نیز مانند تمام گازها این قابلیت افزایش می یابد.مقدار ضریب هدایت گرمایی بالا و حرارت مخصوص بالای هیدروژن باعث میشود تا میزان دفع حرارت تا ده مرتبه افزایش پیدا کند.در نتیجه مقدار کاهش دمای ژنراتور افزایش می یابد و اندازه سیستم های خنک سازی مربوطه نیز کاهش می یابد.

ج:فروسایی(Degradation)سیستم آب بندی توسط فرایند اکسیداسیون توسط هیدروژن اتفاق نمی افتد.

از جمله معایب سیستم هیدروژنی میتوان موارد زیر را نام برد:

1-بدلیل اینکه غلظت حدود 76٪-4٪ هیدروژن در هوا احتمال انفجار دارد بایستی که بطریقی از فرار هیدروژن از محفظه اصلی جلوگیری کرد.

بدین منظور محفظه کاملا آب بندی میشود تا از نشت هیدروزن جلوگیری بعمل آید.این مهم احتیاج به تکنیکهای جوشکاری مدرن دارد.اتصالات خارجی از جمله شافت اصلی روتور نیز احتیاج به یک سیستم آب بندی فوق العاده پیچیده دارد.

2-بدلیل صد در صد نبودن سیستم آب بندی نشت هیدروژن به محیط صورت میگیرد.این مقدار جرم خروجی احتیاج به جبران شدن (make-up)دارد.بدین منظور در محل بایستی که از یک سیستم تولید هیدروژن بهره جست.

ب-خنک سازی سیم پیچ های استاتور توسط آب

آب توسط تماس مستقیم با سیم پیچ های استاتور میتواند حرارت تولید شده را دفع کند.

ولی برای این منظور بایستی که مقدمات زیر فراهم شود:

1-مقدار ضریب هدایت گرمایی آب را بایستی بسیار پایین آورد تا از هدایت کردن جریان الکتریکی جلوگیری بعمل آید.

2-کانالهایی که برای هدایت آب به طرف استاتور استفاده میشوند بایستی که کاملا آب بندی باشند.

3-سرعت آب را تا حد امکان باید پایین آورد تا از فرسایش تجهیزات مورد استفاده جلوگیری شود.

4-بدلیل بخار شدن آب در مورد دمای ژنراتور محدودیت وجود دارد.البته در بعضی از سیستم های مدرن میتوان با افزایش فشار سطح دمای بخار شدن آب را بالا برد.

ج-سیستم های خنک سازی توسط هوا

در این روش از هوا بعنوان سیال خنک کننده استفاده میشود.هوا توسط مکنده هایی برروی سیستم سیم پیچ های روتور و استاتور حرکت میکند و عمل دفع حرارت را انجام میدهد.این سیستم ها به دو صورت باز و بسته موجود میباشند.در سیستم باز هوای محیط از طریق مکنده هایی مکیده میشود و پس از طی مسیر به محیط باز گردانده میشود که دارای مشکلات زیر است:

1-بدلیل استفاده از هوای محیط برای فرایند خنک سازی مقداری از ذرات گرد و غبار وارد سیستم شده که برای سیم پیچ های روتور و استاتور مشکل فراهم میکند.

2-کنترل دما در این نوع سیستم ها بدلیل ثابت نبودن دمای هوای ورودی به طور کامل صورت نمیگیرد.

نوع دیگر سیستم های هوایی سیستم بسته میباشد که هوا پس از طی مسیر حرارت خود را به یک سیال خنک کننده در یک مبدل حرارتی پس میدهد و دوباره به سیستم باز میگردد.سیال خنک کننده که معمولا آب میباشد پس از گرفتن حرارت از هوا مقدار انرژی گرفته شده را در یک برج خنک کن تر و یا یک کولر هوایی به محیط باز میگرداند.

جهت تبدیل مدار باز به سیکل مداربسته موارد زر در نظر گرفته میشود:

1- استفاده از برج خنک کننده تر به همراه مبدل حرارتی فشرده.

2- استفاده از کولر هوایی به همراه مبدل حرارتی فشرده.

در هر دو مورد با توجه به اینکه استفاده از مبدل حرارتی فشرده در سیستم مدار بسته موجب افت فشار میگردد دو حالت زیر مورد بررسی قرار گرفتند:

1الف)استفاده از قدرت پروانه های موجود بروی روتور دستگاه ژنراتور که هم اکنون در سیستم باز موجب مکش هوا به داخل محفظه ژنراتور و خارج ساختن آن از کانال خروجی سیستم میگردد.

ب)استفاده از یک دمنده کمکی(Auxillary fan)که میزان جریان هوا را به مقدار افت فشار ایجاد شده به حد معین برساند.

تاثیر پارامترهای گوناگون در طراحی

از بین پارامترهای گوناگونی که بر روی عملکرد سیستم مدار بسته موثرند میتوان به موارد زیر اشاره کرد:

1-تغییرات دمای خشک هوای محیط

2-تغییرات رطوبت نسبی هوای محیط

3-نوع برج خنک کن بکار رفته در سیستم

4-مقدار شار جرمی دمنده کمکی

5-استفاده از کولر هوایی

6-نوع مبدل حرارتی فشرده استفاده شده در طراحی

7-مقدار سطح انتقال حرارت مبدل حرارتی فشرده

از بین پارامترهای فوق سطح مبدل حرارتی بدلیل ثابت بودن کانال خروجی هوا و نوع مبدل بدلیل محدودیت در ساخت ثابت میباشند.

تاثیر تغییرات هوای محیط بروی عملکرد سیستم مدار بسته

با افزایش دمای خشک محیط همراه با رطوبت نسبی ثابت دمای هوای خروجی از ژنراتور افزایش میباشد.همچنین در یک دمای خشک هوای محیط ثابت با افزایش رطوبت نسبی

هوای محیط دمای هوای خروجی از ژنراتور افزایش می یابد.پس با افزایش اندازه برج خنک کن دمای هوای خروجی از ژنراتور کاهش می یابد.

تاثیر تغییرات شار جرمی دمنده اضافی

همانطو که انتظار داریم با افزایش شار جرمی دمنده در یک ساعت بخصوص مقدار دمای هوای خروجی از ژنراتور کاهش می یابد.

جمع بندی

نتایج بدست آمده نشان میدهد که استفاده از برج خنک کننده میتواند راه حل مناسبی برای خنک کردن ژنراتور باشد.گرچه بدون استفاده از سیستم دمنده کمکی میتوان در قسمتی از طول شبانه روز با نیروی پروانه های نصب شده بر روی ژنراتور میتوان آنرا خنک نمود اما برای ساعات گرم شبانه روز سیستم موجود جوابگو نمیباشد.

برای حصول اطمینان از عملکرد سیستم در ماههای گرم سال استفاده از یک سیستم دمنده کمکی در داخل کانال بسته سیستم خنک کننده پیشنهاد میشود.در این حالت دمای هوای خروجی از ژنراتور در تمام اوقات شبانه روز زیر حد مجاز است.

سیستم انتخابی باید بر اساس عوامل زیر مورد استفاده قرار گیرد.

1-فضا:بدیهی است که انتخاب سیستم مناسب باید بر اساس در نظر داشتن محدودیت فضا در مکان سیستم صورت گیرد.

2-سروصدا:طراحی و ساخت سیستم کانال بندی جدید باید به منظور کاهش میزان سروصدای تولیدی باشد.

3-هزینه اولیه:انتخاب سیستم جدید باید بر اساس کاهش سرمایه و هزینه باشد.

4-هزینه نگهداری:هزینه نگهداری اجزای مختلف سیستم جدید از قبیل برج خنک کن"کولر هوایی"مبدل حرارتی و دمنده ها عامل مهمی در انتخاب میباشد.

5-مقدار آب مصرفی برج :با توجه به محدودیت ذخایر منابع آبی استفاده از برج کوچکتر باعث کاهش میزان آب مصرفی میگردد.

فصل سوم:سیستم مه پاش کم فشار جهت افزایش خروجی تـوربین گازی صنعتی

مقدمه:

بر اساس سه عامل آشکار (افشانک کمکی هوا "سنسور رطوبت وسیستم PLC مدار بسـته)یـک سیستم برقی کم فشار که باعث افزایش بارگیری توربین گازی میشود شکل میگیرد.اصلاحاتی که در افشانک کمکی هوا انجام شد در موتور جت لابراتوار TECHNION تست شدند.و این تست ها به منظور بررسی توانایی پارامترهای ترمودینامیکی در مشخصه اسـپری کردنشـان بـه عنـوان تابعی از سایز ذرات و سرعت توزیع ذرات اسپری شده انجام گرفته اند.چنین سیسـتمی میتوانـد کل تست های مربوطه را در توربین گازی یک نیروگاه بگذراند.ویژگی قطرات کوچک و چگـونگی طراحی مفهومی آن و نتایج آزمایشات انجام گرفته روی آن موضوع این سر فصل میباشد.

شرایط آب و هوایی منطقه

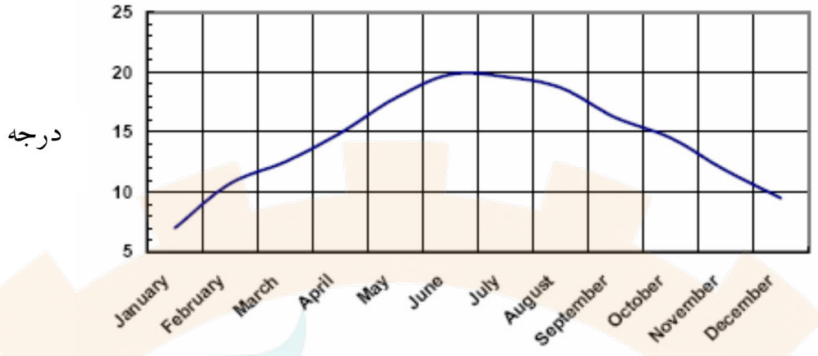
تـوربین هـای گـازی یـک حجـم ثـابتی از هـوا را بـا صـرفنظر از درجـه هـوای محـیط مکـش مینمایند.زمانیکه درجه هوای محیط افزایش می یابد قدرت خروجـی کـم میشـود.چنـدین متـد پیشرفته جهت خنک سازی دهانه ورودی هوا و افزایش دانسیته آن شامل تبخیـر "مـه پاشـی و اسـتفاده ازپکـیج هـای یخچـالی سیسـتم هـای چیلـری میباشـد.اکنـون تکنولـوژی مـه پاشـی

(FOGGING)یکی از پر کاربرد ترین روشها جهت افزایش قدرت خروجی یک توربین گازی میباشد.

نیروگاه کمپانی الکتریکی اسراییل (IEC)یک توربین گازی را(PG541B)به منظور آزمایش جهت افزایش قدرت خروجی سیستم بکار گرفت که آن در جنوب اسراییل نزدیک شهر ایلات در ساحل دریای سیاه قرار دارد.که چنین سیستمی به عنوان رزرو زمانیکه ضریب قدرت حدود 20٪ میگردد استفاده میشود.

جهت ارزیابی مزایای سیستم درونی مه پاش در شرایط آب و هوایی EILAT شرایط آب و هوایی محل بر حسب پتانسیل سیستم خنک کنندگی (تفاوت بین درجه حرارت خشک و مرطوب)آنالیز میگردد.فرض میشود که رنج افزایش قدرت خروجی سیستم توسط حداقل درجه حرارت 10C و حداقل پتانسیل خنک سازی 3C محدود گردد.بر حسب اطلاعات آب و هوایی پتانسیل سالیانه سیستم خنک کنندگی در حدود 62157 درجه خنک سازی سلسیوس ساعت (CDII)میباشد.بر حسب ضریب قدرت پتانسیل سالیانه ای که منجر به افزایش قدرت برای یک توربین گازی PG651B میگردد در حدود 4400MWH تخمین زده میشود.مصرف آب برای این منظور 4500 تن میباشد.میانگین توزیع پتانسیل سالیانه سیستم خنک کنندگی در شکل 1 نمایش داده شده است.

شکل1:



میانگین سالیانه پتانسیل خنک سازی در ۱۴:۰۰

افشانک ها برای سیستمهای مه پاشی

معمول ترین نوع افشانک ها مربوط به جت ها(بصورت تماسی) و انواع air assist میباشند.ایراد اصلی افشانک های تماسی جت ها نیاز آنها به ذرات پر فشار آب (چند صد bars)میباشد که بطور گسترده ای توسط سیستم های مه پاش Mee مورد استفاده قرار میگیرند.به علاوه افشانک های تماسی حساسیت بالایی در کاربردهای هندسی دارند از اینرو آنها نیازمند ماشین های با کیفیت بالا میباشند.به علاوه چنین افشانک هایی ممکن است دچار خوردگی و فرسودگی گردند.آنها نیازمند معاینات منظمی هستند که کیفیت کاراییشان راهنگام عمل نشان دهد.چنین مشکلاتی ممکن است توسط استفاده از هوا برطرف گردد که منجر به افزایش فرایندهای ریزسازی در سیستم های تزریق کم فشار آب میگردد نمونه آن استفاده از افشانک های کمکی هوا (air assist) در مه پاشی میباشد.

ویژگی ممتاز افشانک های کمکی هوا این است که حتی اگر آن شامل سه روزنه باشد حساسیت آن برای فرسودگی کمتر میباشد.به علت سرعت و شتاب کم مایعات چنین افشانک هایی قطر

روزنه نسبی شان بزرگ میباشد و بنابراین آنها کمتر جهت انسداد ذرات و ناخالصی های آب قابل اطمینان میباشند.

در نتیجه زحمت کمتری برای معاینه در مقایسه با افشانک های تماسی جت مورد نیاز است.پر استفاده ترین نوع افشانک کمکی هوا توسط کمپانی DELAVAN تولید شده است.که هوا بصورت مماسی وارد محفظه ها و حفره های افشانک میشود تا ریزسازی اولیه انجام گیرد.هنگامی که مایع از سوراخ ها عبور میکند به صورت قطرات ریزی در آمده و وارد حلقه منحرف کننده میگردد که این عمل به دو علت انجام میپذیرد:یکی به علت کنترل دقیق زاویه اسپری کردن و دیگری به منظور ریز سازی و ایجاد قطرات کوچکتر.

مقایسه بین افشانک های کمکی هوا و افشانک های فشاری تک سیاله توسط HOFFMAN صورت گرفته است.نتایج آنها نشانگر اینست که تفاوت عمده آنها در توزیع قطر ذرات و جرم سیال در هر دو سیستم تزریقی میباشد.برای مثال افشانک فشاری با نرخ دریافت جرمی بالا ایجاد اسپری ای را میکند که باعث متلاشی شدن شکل استوانه ای آن شده و باعث ایجاد یک ساختار استوانه ای مخروطی میشود.ضمنا افشانک کمکی هوا 87٪ مقدار تزریق شده به آن را زمانیکه در حال ایجاد یک ساختار مخروطی پهن توخالی میباشد توسط یکی از سه اوسیلاتور حایل تخلیه میکند.افشانک های کمکی هوا نیازمند مقدار کم هوای پر فشار میباشند در حالیکه افشانک های بازدمی هوا (Air blast) نیازمند هوای کم فشار با نرخ جریان بالا میباشند.Wig در مورد مکانیزم ریز سازی(پودر سازی) تحقیق نمود و بر اهمیت انرژِی جنبشی هوای اسپری شده تاکید نمود.بر اساس عقیده او تفاوت بین انرژی هوای درونی و هوای اسپری شده بیرونی یک فاکتور بارزی میباشد که روی میانگین سایز ذره اثر گذار است.او عبارت بدون بعد زیر را برای جرمی متوسط از قطر یک ذره ارایه داد:

$$dv50 = 20 \cdot \nu_L^{0.5} \cdot \dot{m}_L^{0.1} \cdot (1 + \dot{m}_L / \dot{m}_A) \cdot h^{0.1} \cdot \sigma^{0.2} \cdot \rho_A^{-0.3} \cdot U_R^{-1.0}, \quad (1)$$

به منظور بهم پیوستگی اثر قطرات در فرایند اسپری شدن معادله 1 بصورت زیر تصحیح میگردد:

$$dv50 = 20 \cdot \nu_L^{0.5} \cdot \dot{m}_L^{0.1} \cdot (1 + \dot{m}_L / \dot{m}_A) \cdot h^{0.1} \cdot \sigma^{0.2} \cdot \rho_A^{-0.3} \cdot U_R^{-1.0}$$
$$(1 + 5.0 \cdot (\dot{m}_L / \dot{m}_A)^{0.6} \cdot \dot{m}_L^{0.1}), \quad (2)$$

INAMURA و NAGI در مورد مخلوط کردن داخلی نازلها تحقیق نمودند و آشفتگی طول موج های بزرگتر در مایعات را که در طول دیواره نمایان بود مشاهده نمودند که باعث میگردد که غشا, مایع از ساختار پیوند های ناپایدارش در انتهای دیواره به صورت قطرات ریزی از هم گسیخته گردد.آنها این پروسس را تحت عنوان Atomization by ligament formation یا ریز سازی توسط ساختار پیوندی نامگذاری نمودند.اگر سرعت هوا افزایش یابد میزان آشفتگی طول موج کمتر شده و سایز قطرات کاهش می یابد. Elkotb معادله زیر را برای محاسبه پیشنهاد نمود:

$$SMD = 51 \cdot d_0 \cdot \mathrm{Re}^{-0.39} \cdot We^{-0.18} \cdot (\dot{m}_L / \dot{m}_A)^{0.29}, \quad (3)$$

where $Re = \rho_L \cdot U_R \cdot d_0 / \mu_L$ and $We = \rho_L \cdot d_0 \cdot U_R^2 / \sigma$.

معادله مخلوط کردن داخلی و خارجی نازلها توسط Simmons ارایه شد:

$$SMD = C(\rho_L^{0.25} \mu_L^{0.06} \sigma^{0.375} / \rho_A^{0.375})(\dot{m}_L / (\dot{m}_L U_L + \dot{m}_A U_A)^{0.55}, \quad (4)$$

بایستی توجه داشت که ضریب تجربی C بستگی به نوع طراحی افشانک دارد . GLATHE در مورد خاصیت گریز از مرکز بودن برروی کارایی افشانک کمکی هوا مطالعاتی انجام داد و به تاثیر

کم این پارامتر در کارایی افشانک پی برد.چگونگی تغییرات کشش سطحی در مه پاشهای کمکی هوا توسط SHAVIT و CHIGER بررسی گردیده است.

منظور از مواردی که تاکنون بیان شده آنالیز کارایی افشانک کمکی هوا وتست کردن آن توسط یک سیستم مه پاش جدید است.

نامگذاری فهرست اختصارات

GT =توربین گازی

PLC=کنترلر منطقی قابل برنامه ریزی

CDH=درجه خنک سازی

TA =درجه حرارت محیط

RH=رطوبت نسبی

C=ضریب تجربی (بدون بعد)

do=قطر افشانک

Dv10,50,90 =قطر قطره مثلا 10٪(50و90)٪ کل حجم مایع که واحدش متر(m)است.

H=ارتفاع حلقه های هوایی

Smd=قطر اصلی sauter

M=نرخ دبی جرمی

U=سرعت بر حسب m/s

μ=ویسکوزیتی(چسبندگی) دینامیکی بر حسب kg/(m.s)

ν =ویسکوزیتی جنبشی بر حسب مجذور متر بر ثانیه

ρ=چگالی بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب

σ=کشش سطحی بر حسب n/m

زیر نویس:

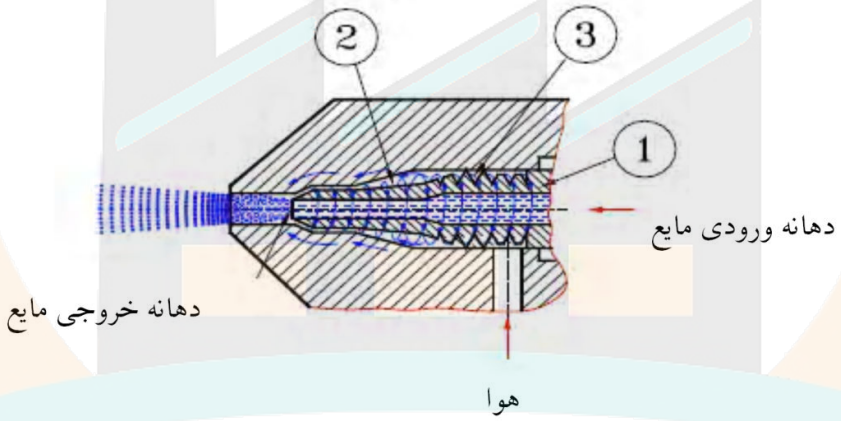
A=هوا L=مایع R=هوای متمایل به مایع

تست افشانک کمکی هوا

در این قسمت عملکرد ریز سازی افشانک کمکی جدید هوایی برای سیستم خنک سازی توربین گازی مورد بررسی قرار میگیرد.

پارامتر های ریز سازی

توصیف دقیق طرح یک افشانک توسط TAVOR ارایه شده است.مفهوم شماتیکی آن در شکل زیر(2) نشان داده شده است:



1-لوله باریک

2-شتاب حفره

3-مجرای مارپیچی

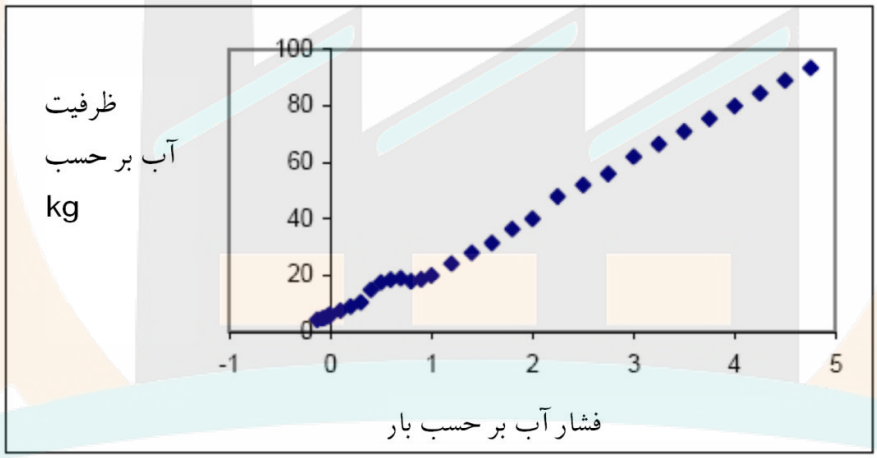
مایع متوالیا از میان لوله باریک عبور میکند(1).در شکل 2 عبور مایع از بخش ورودی به قسمت خروجی نشان داده شده است.محفظه شتاب دهنده (2)باعث ایجاد یک جریان هوایی وایجاد سرعت های بالای هوایی در آن میگردد.هوا از یک لوله مارپیچی عبور میکند(3).که این منجر به ایجاد چرخش در جریان هوا و ایجاد سرعت های نسبی بالا در جریان های آبی و هوایی میگردد.گرداب جریان هوایی توسط لوله های ونتوری در داخل آب تخلیه میگردد.برخورد بین جریان هوا و آب باعث ایجاد قطرات فوق الاده ریز (MICRO –DROPLETS) میگردد.سرعت کم مایع در قسمت دهانه خروجی مجرای عبوری مایع باعث میگردد که ما از یک روزنه بزرگتر (با قطر 1.37mm یا2.7mm) استفاده کنیم.این روزنه بزرگتر بدلیل انباشتگی مسدود نمیگردد و در نتیجه یک سیستم مه پاش قابل اعتمادتر را ایجاد مینماید.

ضمنا بصورت سالیانه و ادواری بایستی معاینات انجام گیرد و هنگامی که میزان آب خروجی کم میشود بایستی روزنه مذکور تمیز گردد.دو افشانک با مصرف متفاوت آب مورد بررسی قرار گرفتند و اطلاعات اصلی شان در جدول زیر نشات داده شده است:

افشانک شماره 2	افشانک شماره1	
4.8	2.42	قطر روزنه مه پاش mm
2.7	1.38	قطر روزنه خروجی آب mm

مصرف آب در فشار اتمسفر نرمال بر حسب لیتر بر دقیقه	6	20
مصرف هوا	55	230
فشار هوا در حین عملکرد اساندارد حسب بار	6	6

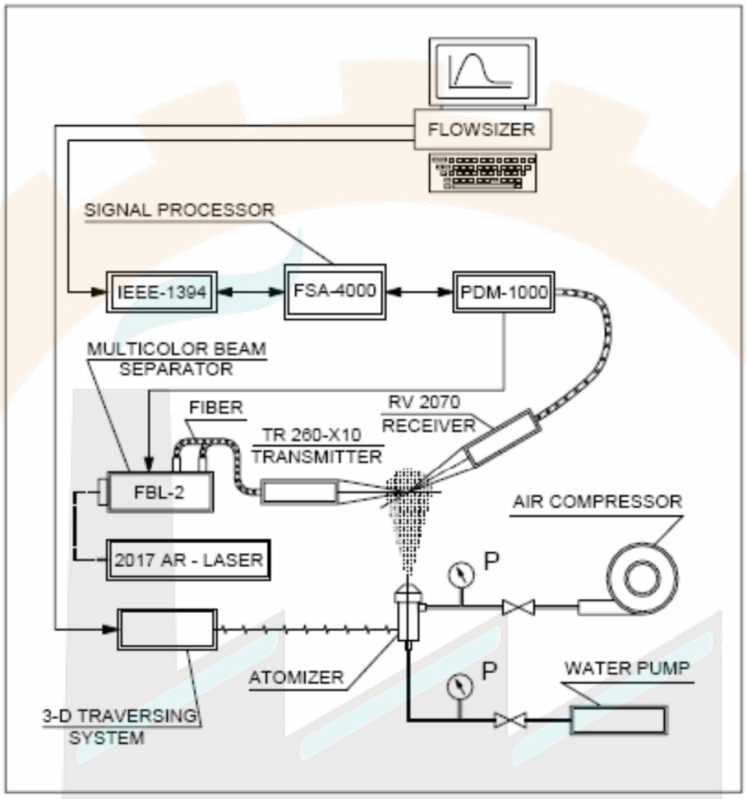
منحنی ظرفیت آب خروجی و فشار آب ورودی در فشار هوای ورودی 6 بار برای افشانک شماره 1 در شکل زیر(3) نشان داده شده است:



چگونگی وابستگی بین ظرفیت آب و فشار آب ورودی در فشارهوای ورودی۶ بار

SET UP نمودن تجهیزات بصورت آزمایشی:

تجهیزات آزمایشی (شکل 4)شامل پمپ آب "کمپرسور با لاین تغذیه هوایی"فشار سنج "شیرها و مه پاش های آزمایشی میباشد.

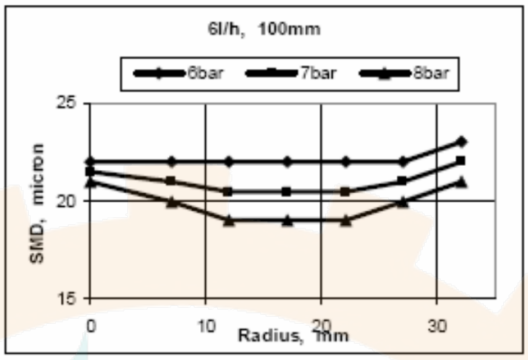


SET UP نمودن تجهیزات بصورت آزمایشی

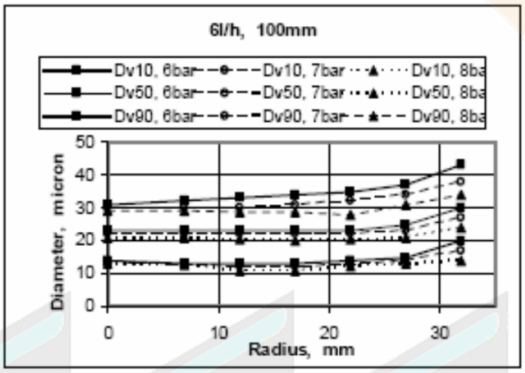
سیستم فوق توزیع سایز قطره و توزیع سرعت قطره و میزان تراکم آن را بر حسب number/cc ثبت مینماید.رنج مجاز قطر قطره اندازه گیری شده 1-200µm می باشد.اندازه گیری توزیع ساز قطره در 100 و 300 میلیمتری قسمت پایینی نوک افشانک انجام میشود.فشار هوا از 6 تا 8 بار تغیر میکند.

نتایج آزمایشی

توزیع قطر قطره در هنگام اسپری شدن در فشار های مختلف هوایی برای افشانک 1 در شکل های 5a و 5b نشان داده شده است.که میتوان تغییر افت فشار هوا را از 6 تا 8 بار(bar) مشاهده نمود که اثر ناچیزی در سایز قطره دارد.بنابراین اندازه گیری های بیشتر فقط به منظور بدست آوردن افت فشار اسمی که برابر با 6 بار است انجام میگردد.اثر فاصله در نازل خروجی در شکل 6 نشان داده شده است.واضح است که قطر ذره با افزایش فاصله بیشتر میگردد.که این موضوع توسط تبخیر قطرات کوچک تر توضیح داده میشود.توزیع محوری سرعت قطرات در شکل 7 نشان داده شده است.



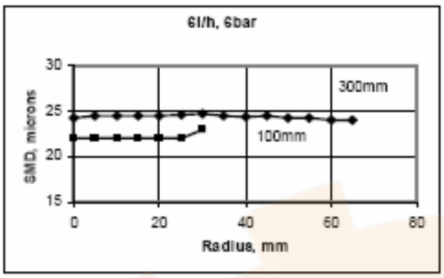
a)



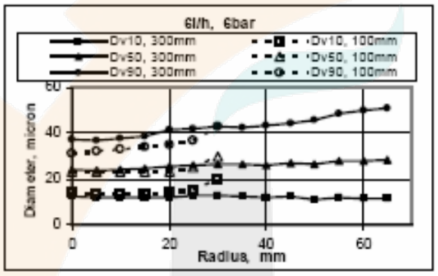
b)

شکل۵:توزیع سایز قطره بر حسب شعاع افشانک
برای مقادیر مختلف افت فشار برای افشانک
1a,smd b,dv10,50,90
فاصله از بخش خروجی افشانک۱۰۰ میلیمتر

Power Plant Academy

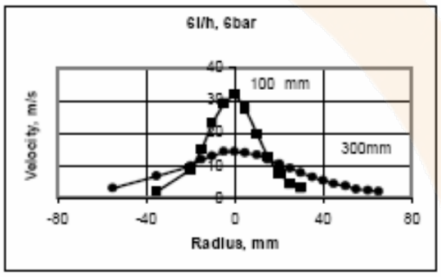


a)



b)

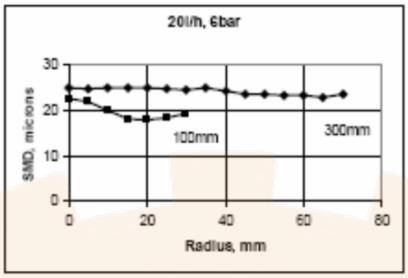
شکل ۶:توزیع سایز قطره بر حسب شعاع افشانک .فاصله از بخش خروجی افشانک ۱۰۰و۳۰۰ میلیمتر .برای افشانک 1a,smd b,dv10,50,90



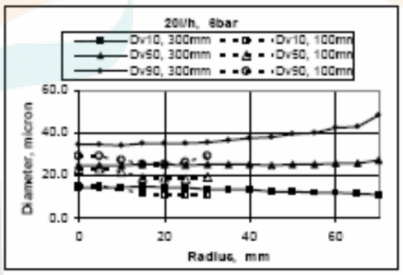
شکل۷:توزیع میله ای سرعت قطره بر حسب شعاع افشانک برای افشانک شماره۱

اطلاعات مشابه در مورد افشانک شماره 2 در اشکال 8و9 نمایان است.

Power Plant Academy

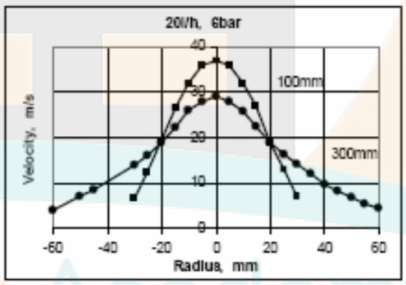


a)



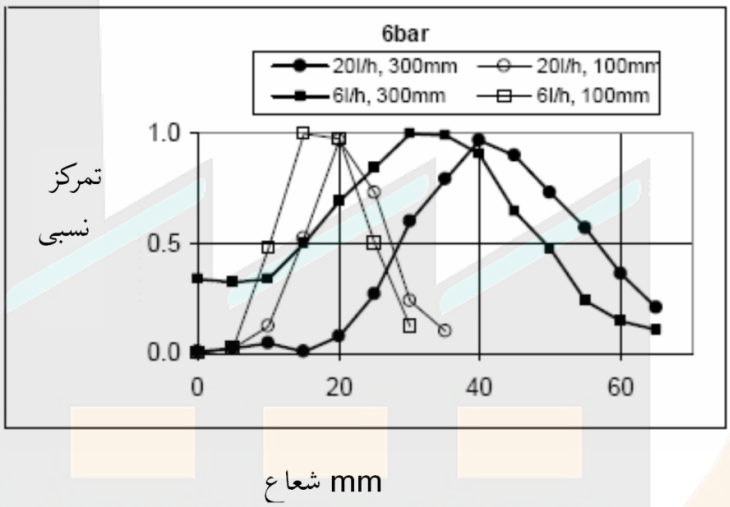
b)

شکل ۸: توزیع سایز قطره بر حسب شعاع افشانک . فاصله از بخش خروجی نازل ۱۰۰و۳۰۰ میلیمتر برای افشانک 2a,smd b,dv10,50,90



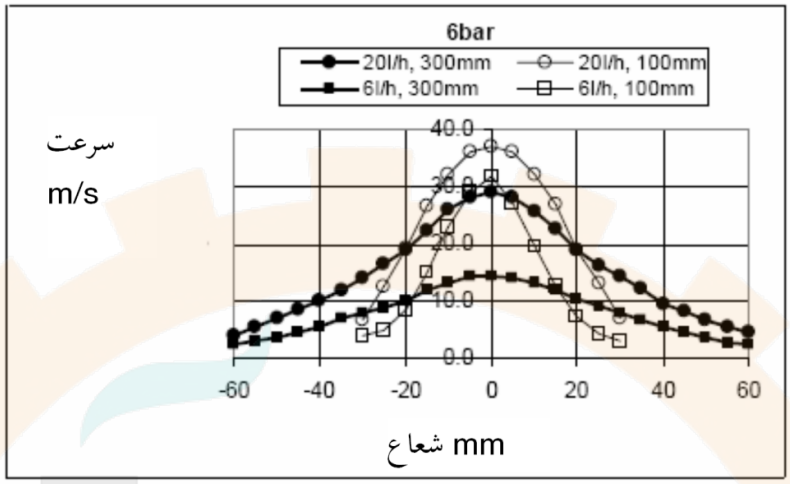
شکل۹: توزیع میله ای سرعت قطره بر حسب شعاع افشانک . فاصله از بخش خروجی افشانک ۱۰۰ و ۳۰۰ میلیمتر برای افشانک شماره ۲

مقایسه بین تراکم طبیعی قطرات برای دو افشانک در شکل 10 نشان داده شده است.حداکثر فاصله شعاعی اسپری کردن قطرات در افشانک شماره 2 (20 l/hour)بیشتر از افشانک شماره 1 (6 l/hour)میباشد. این اثر در دو فاصله محوری (100mm و 300mm)برقرار است.مقایسه بین سرعت های محوری برای دو افشانک در شکل 11 نشان داده شده است که بیانگر این است که قطرات اسپری شده سرعت بیشتر و زاویه اسپری کمتری در افشانک شماره 2 دارند زیرا هوای بیشتری نسبت به مایع در هنگام اسپری موجود است.



شکل۱۰: چگونگی توزیع تمرکز مایع بر حسب شعاع افشانک برای افشانک های شماره ۱و۲

Power Plant Academy



شکل۱۱: مقایسه بین مقادیر سرعت و توزیع سرعت بر حسب شعاع افشانک برای افشانک های شماره ۱و۲

علیرغم توزیع یکنواخت سایز قطره بر اساس شعاع تمرکز توزیع یک حالت غیر یکنواخت عجیبی دارد زیرا طرح کانال هوا باعث ایجاد چرخش در جریان هوا در قسمت انتهایی نازل(افشانک)میگردد.سطوح آن هنگامیکه فاصله اش از دهانه خروجی افشانک افزایش یابد بسته میگردد.بایستی توجه داشت که هر دو نوع افشانک دارای قطر ذرات اسپری شده نزدیک بهمی میباشند و میزان توزیع تمرکزشان مشابه است.این بدان معناست که فاکتور تاثیر گذار در سایز قطره در حالتیکه قطر افشانک های مایع و آب بطور قابل توجهی متفاوت باشند(جدول 1) به علت تغییر در میزان آب و هوا یا سرعت آنهارخ میدهد که برای دو افشانک مقدار نزدیک بهمی میباشد. سرعت اسپری و میزان مایع و هوا در فشار کاملا یکسان برای افشانک شماره 2 بیشتر

میباشد.احتمالا توجیه این مساله اینگونه میباشد که چون میزان عبور جریان هوا بیشتر شده پس در نتیجه افت فشار کمتری در کانال مارپیچی هوا رخ میدهد.سرعت های بیشتر منجر به کاهش سایز قطره میگردد.مقایسه بین داده های آزمایشی و روابط تجربی توسط افراد دیگری بررسی گردیده و در جدول 2 ارایه گردیده است.

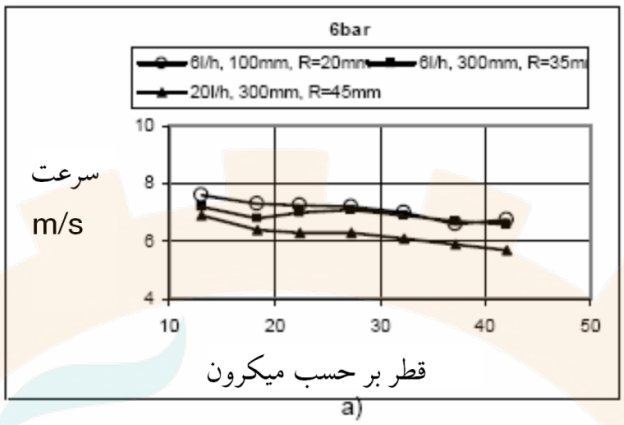
جدول2:

ملاحظات	افشانک 2 سایز قطره میکرون	افشانک 1 سایز قطره میکرون	
	82	59	معادله1
	37	29	معادله2
ضریب c یکسان	33	25	معادله3
SMD VD50	20 22	22 22	داده های آزمایشی

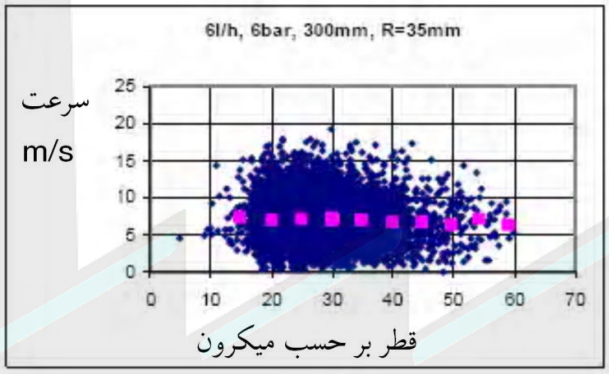
همانطور که در جدول پیداست روابط تجربی ارایه شده توسط ELKOTB و SIMMONS با نتایج آزمایش همبستگی خوبی دارند اگرچه معادله WEGG مقادیر بیشتری برای سایز قطره به ما میدهد (ذکر این نکته الزامی است که این معادله برای افشانک های مخلوط کننده داخلی صادق است).همچنین ممکن است که از معادلات 2و3 استنباط گردد که سایز قطره با سرعت نسبی آب /هوا در قدرت 1-0.5 رابطه معکوسی دارد.

شکل 12:چگونگی اسپری در قسمت خروجی افشانک شماره 1 (فشار هوای ورودی 6BAR).

زاویه کوچک مخروطی اسپری کردن (حدود 24 درجه برای همه افت فشارها) به منظور جلوگیری از بر همکنش بین اسپری های مجاور (هنگامیکه که چندین افشانک در یک سطح متقاطع به شکل یک ماتریس قرار گرفته اند) بسیار مهم میباشد.زاویه کوچک مخروطی به علت به حداقل رسانیدن به هم آمیختگی قطرات مورد توجه است.همبستگی بین سرعت مایع و سایز قطرات در نقطه تراکم حداکثر مایع (برای مسافت معینی از قسمت خروجی افشانک)به همراه یک نمونه از نتایج در شکل شماره 13 نشان داده شده است.دلیل بیان این آزمایشها اینست که در هر مکانی از اسپری سرعت قطرات بستگی به سایز قطرات دارد از اینرو بر هم آمیختگی قطرات بسیار ناچیز است.که این مطلب توسط نتایج ارایه شده در فوق تایید میگردد(شکل 6و8).



a)



b)

شکل۱۳: وابستگی سرعت قطره به SMD
در حداکثر نقطه تمرکز برای افشانک شماره ۱ در شکل a
و برای افشانک شماره ۲ در شکلb

SMD قطرات برای دو افشانک آزمایش شده در حدود 20 میکرون میباشد.مقایسه ای بین داده های در دسترس بیانگر کارایی افشانک های پیشنهاد شده است که سایز قطراتشان کوچکتر از آنچه که افراد دیگر گزارش داده اند میباشد که این مطلب میتواند به علت چرخش قوی و نیروی برش هوای با سرعت زیاد در قسمت خروجی افشانک ایجاد گردد.بنابراین تجزیه شدن مایع دهانه افشانک توسط نیروهای ایرودینامیکی باعث ایجاد چنین فرایند های اثر بخشی میگردد.

تست های میدانی

سیستم مه پاش خنک کننده مورد نظر یک سیستم آزمایشی است.به منظور به حداقل رسانیدن احتمال فرسایش تیغه های کمپرسور و شکستگی بدنه و روکش کمپرسور و غیره سیستم مه پاش بایستی در بالادست فیلتر های هوایی نصب گردد.واضح است که چنین طرحی کارایی کلی و قابلیت سیستم را جهت افزایش توان توربین گازی کاهش میدهد.اگرچه هدف از چنین عملکردی فقط بررسی قابلیت اطمینان افشانک ها و میزان رطوبت سنسور های ایجاد شده توسط Zlochinو سیستم مدار بسته Plc ایجاد شده توسط Moria , Zlochin میباشد.

توصیف سیستم خنک کننده مه پاش کم فشار

سیستمی است که شامل یک سری از نازل های مه پاش گوناگون میباشد.

میزان جریان آب توسط یک Plc بر اساس شرایط محیطی وتشخیص سنسور های رطوبت کنترل میگردد.موارد مورد نیاز آب در فشار محیط و هوا در فشار 7-6 بار میباشد.هوای متراکم مورد نیاز برای سیستم عملیاتی میتواند توسط کمپرسور یک توربین گازی فراهم گردد.مصرف آب در فشار اتمسفر 6 l/h میباشد.سیستم آبی کم فشار (آب توسط دهانه هوا مکیده میشود) نیازی به استفاده از پمپ ندارد.روزنه های بزرگتر در افشانک ها کمتر مسدود میشوند و کیفیت فرایند ریز سازی را در طول دوران فعالیتشان ثابت و پایدار نگه میدارند و همچنین هزینه های عملیاتی و نگهداری شان به مراتب کمتر میباشد.امتیاز سنسور های رطوبت سنج یکی امکان مانیتورینگ آنلاین هریک میباشد که میتواند آبهای آزادی(free water) را که در قسمت های بالایی هوای دهانه کمپرسور هستند شناسایی کند و از هرگونه آسیب احتمالی در سیستم بخاطر افزایش نیروی برق جلوگیری نمایند.سنسورهای خازنی شامل یک صفحه الکترود داخلی و یک صفحه ایزوله شده میباشند که بصورت الکترونیکی به مدارات الکترونیکی متصل

میباشند.ضخامت و سطح لایه آب مطابق free water هایی که در هوا هستند و به عنوان ظرفیت خازنی عمل میکنند تغییر نماید.ظرفیت خازنی توسط یک کنترلر به شاخص رطوبتی WIDX تبدیل میشود.رطوبت هنگامیکه هوا در مجرای ورودی کاملا اشباع گردد یا اگر قطرات بزرگ نسبی آب که توسط تراکم و بهم پیوستگی مه ها در ساختار دهانه ورودی هوا ایجاد میگردند وجود داشته باشند رخ میدهد.PLC سیستم مه پاش را کنترل میکند. که آن سطوح سنسورهای رطوبتی را میخواند و میزان جریان آب را توسط استفاده از شیرهای متناسب تنظیم نموده در نتیجه تعدادی از ژنراتورهای مه پاش را بر اساس نیاز های دستگاه روشن و خاموش مینماید.

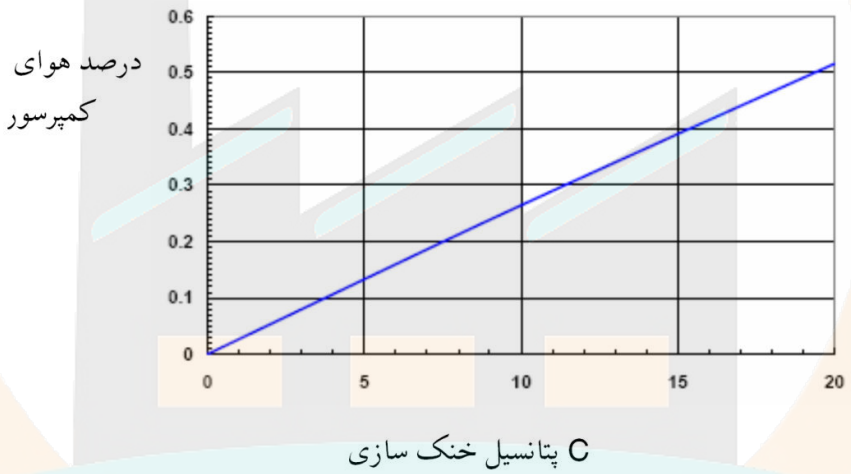
بررسی ترمودینامیکی

هوای مورد نیاز میتواند توسط کمپرسورهای خروجی یا از سیستم کمپرسورهای هوایی توربین گازی دریافت گردد.هیچ منبع فشاری برای آب نیاز نمیباشد.مقایسه بین تقاضای انرژی اضافی در سیستم های افزاینده کم فشار یا پر فشار در فرمت های 9E, 6E توربین گازی در جدول شماره 3 ارایه گردیده است.شرایط زیر در نظر گرفته میشود:درجه حرارت محیط 40 درجه سانتیگراد و میزان رطوبت نسبی 40٪ و راندمان تبخیر 85٪.

جدول3:تقاضای انرژی اضافی برای یک سیستم مه پاش کم/پر فشار(با/بدون کمپرسور هوای خارجی)

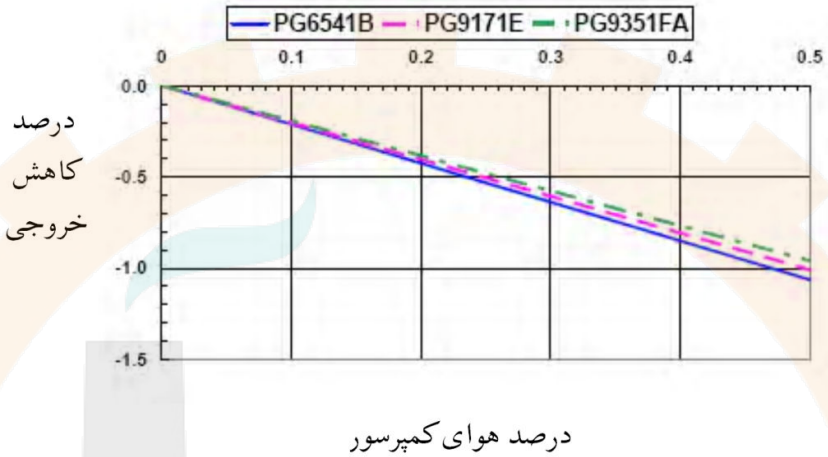
قالب 9E	قالب 6E	توربین گازی
115823	3.5997	افزایش قدرت خروجی توربین گازی kw
2.44	0.82	میزان آب مه پاشی شدهkg/s
1.576	0.53	میزان آب تزریق شده(سیستم تقویت کننده کم فشار)kg/s
58.636	19.705	قدرت پمپ آب(سیستم تقویت کننده پر فشار)kw
0.05	0.05	کاهش قدرت خروجی توربین گازی ٪(سیستم تقویت کننده پر فشار)
398.8	134.1	قدرت کمپرسور هوای خارجی (سیستم تقویت کننده کم فشار)kw
0.34	0.37	کاهش قدرت خروجی توربین گازی ٪(سیستم تقویت کننده کم فشار با کمپرسور خارجی هوا)
877	292	کاهش قدرت به علت خالی شدن کمپرسور هوا(سیستم تقویت کننده کم فشار)
0.76	0.81	کاهش قدرت خروجی توربین گازی(سیستم تقویت کننده کم فشار با در نظر گرفتن تخلیه هوایی)

میتوان دریافت که سیستم مه پاش کم فشار انرژی زیادی را مصرف میکند اما قابلیت اطمینان آن زیاد میباشد و در ضمن سرویس کردن آن راحت است و نیازی به تجهیزات اضافی مشخصی ندارد.از اینرو برای داشتن این مزایا باید مصرف زیاد انرژی اش را پذیرفت.تست های میدانی در پریود های طولانی میتواند در مقایسه با دیگر سیستم های مه پاش اقتصادی بودن آنرا تایید نماید.شکل 14 کمپرسور هوایی را به عنوان تابعی از پتانسیل خنک سازی معرفی مینماید.در مورد دو نوع توربین میتوان دریافت که نتایج کارایی (درصد کاهش قدرت)معمولا برابرند.قدرت شبکه و کارایی در روزهای گرم در شکل شماره 17 و 18 نشان داده شده اند.

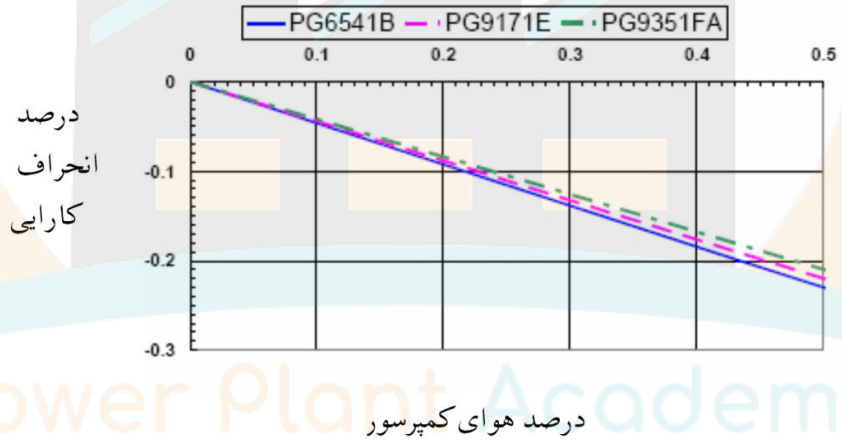


شکل۱۴: وابستگی میزان هوای کمپرسور به عنوان تابعی از پتانسیل خنک سازی

اشکال15و16 روند کاهش در قدرت خروجی و کارایی توربین گازی را در سه توربین نمونه نشان میدهد.

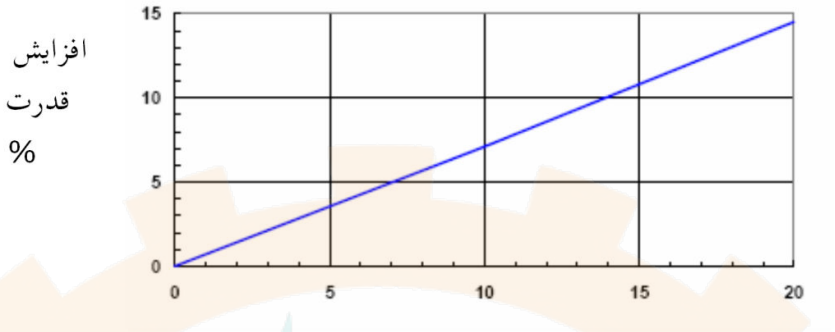


شکل۱۵: چگونگی تاثیر هوا درکاهش خروجی توربین گازی



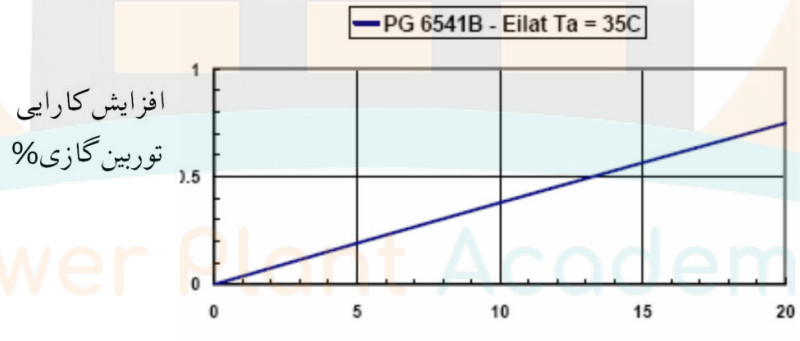
شکل ۱۶: چگونگی تاثیر هوا درکاهش کارایی توربین گازی

Power Plant Academy



C پتانسیل خنکسازی

شکل۱۷: بهبود قدرت خروجی توربین گازی به عنوان تابعی از پتانسیل خنک سازی



C پتانسیل خنک سازی

شکل۱۸: بهبود کارایی توربین گازی در روزگرم به عنوان تابعی از پتانسیل خنک سازی

نتایج تست میدانی

در اگوست 2001 سیستم مه پاش در واحد 2 (PG6541B) نیروگاه EILAT نصب و تست گردید.سیستم فوق در قسمت بالایی فیلترها در LEVEL 4 با 3 عدد چند برابر کننده در هر سطح (12 چند برابر کننده)و 25 نازل در هر چند برابر کننده (جمعا 300 نازل) نصب گردید.هوای متراکم برای عملکرد سیستم ضروری است و از سیستم فیلتر خود پاک کن توربین گازی تامین میگردد.در هنگام تست که 1/5 ساعت در 27 اگوست و2 ساعت در 28 اگوست به طول انجامید هیچ گونه تغییراتی در افت فشار فیلتر یا در رنگ فیلتر استوانه و کارتریج(فشنگ) فیلتر مخروطی مشاهده نگردید.نتایج بصری معاینات بصورت زیر میباشند:

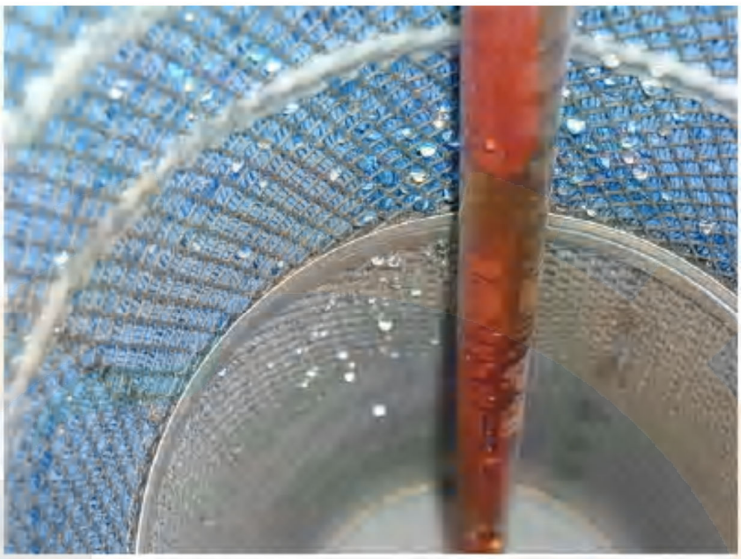
-بخش بالایی کارتریج فیلتر استوانه ای پر از آب است.

-آب از داخل کارتریج عبور میکند(شکل19).

-شکل میله کارتریج فیلتر تغییر کرده است(از حالت مستقیم به حالت موجی.شکل20)

-آب از فضای داخلی کمپرسور که شناسایی نشده عبور مینماید.

با این فرض که تغییر در شکل میله کارتریج اثر معکوسی در کارایی فیلتر دارد و در پایان تست کارتریج فیلتر هوا بی مصرف میگردد و به تولید کننده (DONALDSON و AIRGUARD) برای معاینات فرستاده میشود.نتایج معاینات برای هر دو اینست که فیلترهای استوانه ای و مخروطی هیچ گونه علایمی از آسیب دیدگی و کهنگی را نشان نمیدهند .فیلترهای تست شده به خوبی حالت اول باقی مانده و در اثر مه پاشی آسیب نمیبینند.



چگونگی حرکت قطرات ریز آب درون فیلتر

شکل۲۰: چگونگی نفوذ آب درون فیلترهای هوایی. انحراف شیارهای فیلتر فشنگی

بعد از اولین مرحله از تست میدانی جهت افزایش قدرت خروجی سیستم یک سیستم دو طبقه ای ایجاد گردید.اولین طبقه شامل 12 لاین (20 نازل در هر لاین)در جلوی فیلترها میباشد و

دومین طبقه شامل 8 لاین (12 نازل در هر لاین)در پشت صداخفه کن در قسمت داخلی میباشد.دو دلیل اصلی برای چنین ساختاری افزایش اثر خنک کنندگی بدون آسیب به تیغه های کمپرسور و کاهش اثرات تقویت کنندگی سیستم بر روی فیلتر های هوایی میباشد.یک دریچه پلی کربنی به منظور معاینات بصری در حین انجام آزمایش (کنترل آنلاین)نصب میگردد.

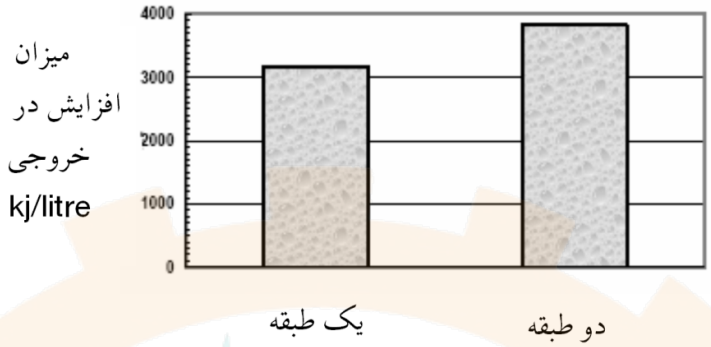
اهداف مرحله دوم از تست میدانی به قرار زیر است:

-بهینه سازی توزیع آب بین اولین و دومین طبقه از سیستم تقویت کننده بر حسب ماکزیمم قدرت اضافه شده و عملکرد ایمن تجهیزات اصلی توربین گازی(بدون وجود قطرات ریز آب در دهانه کمپرسور).

-ارزیابی و بهینه سازی عملکرد سیستم PLC مدار بسته و مکان سنسورهای طوبت سنج.

همانطور که در فوق اشاره گردید کنترل بصری آنلاین از میان دریچه (که از جنس پلی کربن میباشد) انجام میشود .معاینات بصری اضافی قسمت داخلی دهانه و تیغه های کمپرسور قبل و بلافاصله بعد از تست انجام میپذیرند.هیچ گونه آسیبی از تجهیزات توربین گازی شناسایی نگردید.افزایش قدرت خروجی نشانگر کارایی فرایند تقویت کنندگی میباشد مثلا افزایش قدرت خروجی در هر لیتر از آب تزریق شده تحت شرایط یکسان آب و هوایی.

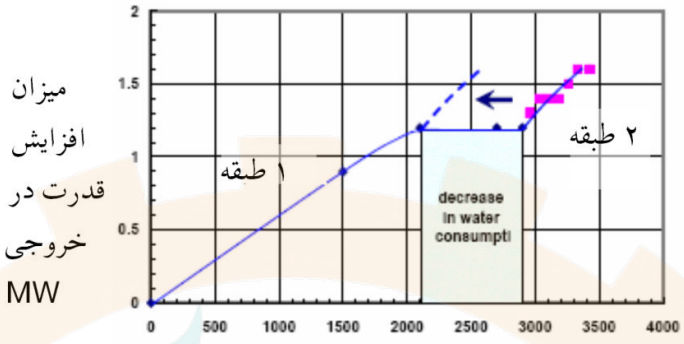
شکل 21 نشانگر مقایسه ای بین سیستم تقویت کننده قدرت یک و دو طبقه میباشد:



مقایسه افزایش قدرت در سیستم های ۱ و ۲ طبقه ای

همانطور که از این چارت مشخص است یک سیستم دو طبقه در خصوص افزایش قدرت شبکه ای 20٪ کارایی بالاتری نسبت به یک سیستم یک طبقه دارد.مکان دومین طبقه (قبل از صفحه آشغال جاییکه سرعت دهانه هوا بیشترین است و فاصله از مجرای مکش کمپرسور کمترین میباشد)قابلیت خنک سازی سیستم تقویت کنندگی را محدود میکند.سنسورهای رطوبت سنج مصرف آب دومین طبقه را به منظور جلوگیری از ورود قطرات به کمپرسور بر حسب شرایط آب و هوایی کاهش میدهند.شکل 22 نشانگر کارایی تقریبی و اندازه گیری شده سیستم دو طبقه در نیروگاه EILAT میباشد.

Power Plant Academy



شکل ۲۲:کارایی سیستم افزاینده برق دو طبقه

کارایی اولین طبقه (منحنی سمت چپی) در جاییکه افزایش جریان آب اثری روی قدرت خروجی نداشته باشد به صورت خط صاف است.دومین طبقه هنگامی فعال میشود که میزان جریان آب در اولین طبقه به 2900 l/b برسد.و دلیل آن اینست که اولین طبقه قبل از دهانه فیلتر هوا مرتب میگردد.فاصله متوسط بین افشانک ها و سرپوش های فیلتری در حدود 2 متر میباشد و برای تکمیل تبخیر میزان جریان زیاد آب کافی نیست.بعد از رسیدن به یک مقدار معین افزایش بیشتر در مصرف آب منجر به خنک سازی در دهانه ورودی هوا نمیگردد اما باعث تقویت بیشتر تراکم مه در درپوش های فیلتر هوا و ساختار آن میگردد (که آن شبیه باران میگردد).این پدیده نشانگر قابلیت تبخیر اولین طبقه است که علی رغم اینکه میزان رطوبت نسبی زیر 100٪ مباشد به مقدار ماکزیمم خود میرسد.در نتیجه میتوان دریافت که مشارکت دومین طبقه (قسمت بالایی و سمت راست منحنی کارایی)میتواند مصرف آب را با احتساب همان افزایش توان کاهش دهد و باعث بهبود کارایی سیستم گردد. و آن میتواند منحنی کارایی را به سمت چپ در جهت فلش (شکل 22) شیفت دهد.

نتایج

1-در حین انجام تست های میدانی و تا دو سال بعد از فعالیت سیستم تقویت کننده قدرت بصورت ایمن و بطور قابل اعتماد کار میکند.

2-سیستم تقویت کننده قدرت دو طبقه در مقایسه با سیستم یک طبقه با مه پاشهایی" که مکان آنها در قسمت بالایی دهانه ورودی فیلتر های هوایی است " 20٪ راندمان بالاتری دارد.

3-سنسورهای رطوبت و سیستم PLC مدار بسته یک متد ایمنی را ایجاد نموده اند که از نفوذ قطرات ریز به دهانه ورودی کمپرسور جلوگیری میکند.

4-SMD قطرات برای هر دو نوع افشانک آزمایش شده در حدود 20 میکرون است.زاویه مخروطی اسپری 24 درجه است.چنین زاویه ای میتواند به منظور جلوگیری از بهم پیوستگی قطرات در جاییکه افشانک ها بصورت نزدیک و متقاطع به یکدیگر نصب شده اند مفید باشد.

فصل چهارم:

«پردازش دهانه ورودی هوا در توربین گازی»

مقدمه:

توربین‌های گازی که توسط کمپانی جنرال الکتریک ساخته شدند به طور موفقی در مناطق روستایی و بخشهای صنعتی، در مناطق قطبی و گرمسیری، در صحرا و در دریا مشغول کار هستند. به منظور وفق با تغییر شرایط آب و هوایی هنگام بهره برداری بهینه و قابلیت اطمینان بالا اغلب لازم است هوایی که توسط توربینهای گازی مصرف میشود تصفیه گردد. حتی در یک محیط نسبتاً تمیز، یک توربین گازی ممکن است هرساله صدها پوند مواد خارجی را در خود فرو برد. چنین مساله‌ای ممکن است باعث ایجاد مشکل شود که بستگی به مقدار موادی که وارد توربین میشود ، خواص مکانیکی و ترکیبات شیمیایی آنها دارد.

خطرات عدم جداسازی این ذرات عبارت است از: فرسایش کمپرسور و اجزاء توربین، ایجاد رسوب در صفحات محل عبور هوا در کمپرسور و زنگ‌زدگی. ذرات جامد به وسیلهٔ

فیلترهای مناسبی جدا می‌شوند، اما مایعاتی که به شدت خورنده هستند بوسیلهٔ دستگاههای جدا کنندهٔ رطوبت جداسازی می‌شوند.

در آب و هوای گرمتر، قدرت مفید یک توربین گازی ممکن است به وسیلهٔ استفاده کردن از یک کولر تبخیر کننده یا یک سیستم خنک کنندهٔ آب سرد افزایش یابد، بالعکس در محیط خیلی سرد لازم است که از یخزدگی اجزایی مانند مدخل تصفیه و صفحهٔ جداساز آشغال، صدا خفه‌کن‌ها و مدخل پره‌های راهنما جلوگیری کرد.

این مقاله به طور کامل راجع به شرایط محیطی که احتیاج به تصفیهٔ هوای مدخل دارد بحث خواهد کرد این تجهیزات ویژه توسط جنرال الکتریک مورد استفاده قرار گرفت تا این عملکردها و اثر آنها را بر راه‌اندازی توربینهای گازی نمایش دهد.

تصفیهٔ هوا

نیاز به فیلتر (تصفیه) کردن:

هر توربین گازی با توجه به طرح اصلی‌اش مقدار زیاد هوایی که مصرف می‌کند (به طور مثال برای MS9001 F 587 کیلوگرم بر ثانیه یا 1296 پوند بر ثانیه) نسبت به کیفیت هوا حساس است . تصفیه برای محافظت در برابر اثرات هوای آلوده است زیرا این امر ممکن است موجب کاهش عمر و عملکرد توربین گازی و فرسایش، ایجاد رسوب، زنگ‌زدگی و بسته‌شدن محل عبور خنک‌کننده‌ها گردد. نیاز به صفحات فیلتراسیون در مقایسه با طرحهای پیچیده و تکنولوزی پیشرفته ماشینهای 7F و 9F افزایش می یابد.

فرسایش:

کمپرسورهای محوری و بخشهای مسیر گاز گرم ممکن است تحت تاثیر فرسایش از طریق ذرات ساینده و سخت مانند شن و خاکهای معدنی قرار گیرند.

این ذرات بر تیغهٔ کمپرسور اثر می‌گذارد و آنها مقدار کوچکی از فلز را می‌برند. میزان فرسایش گرچه به طور دقیق قابل اندازه‌گیری نیست اما به عوامل زیر بستگی دارد: تغییر انرژی جنبشی در هنگام برخورد ذرات، تعداد برخورد ذرات در هر واحد زمانی، زاویه پرتاب و خواص مکانیکی ذرات و ماده‌ای که در حال فرسایش است.

به طور کلی، آزمایش توربینهای گازی نشانگر این است که ذرات زیر 10 میکرومتر ($10\,\mu m$) باعث فرسایش نمی‌شوند اما ذرات 20 میکرومتر ($20\mu m$) و بالاتر وقتی به مقدار کافی باشند طبیعتاً موجب فرسایش می‌شوند.

دو مثال از بخشهایی که تحت فرسایش قرار گرفته اند در شکلهای 1 و 2 نشان داده شده‌اند یکی از آنها از تیغهٔ کمپرسور و دیگری دهانک یا دریچهٔ طبقه اول است.

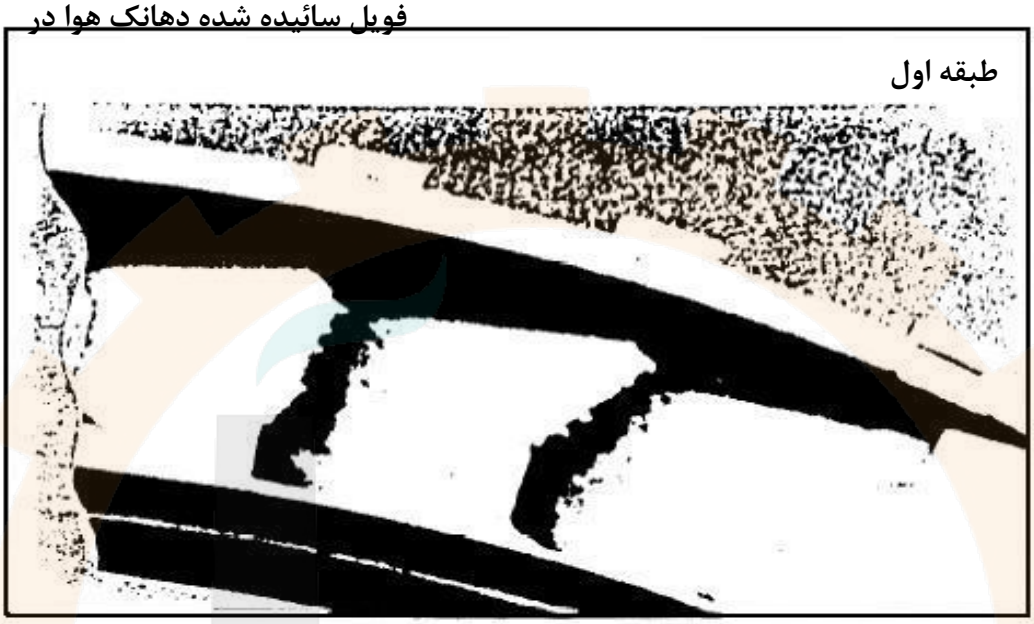
فرسایش نه تنها باعث کاهش عملکرد ایرودینامیک (حرکت اجسام در گازها و هوا) می‌شود بلکه کاهش در منطقه تقاطع عرضی تیغهٔ کمپرسور می‌تواند منجر به صدمات جدی به توربین شود و ممکن است منجر به افزایش فشارهای موضعی گردد و تیغه حین کار شل شده و رها شود. روشهایی از تصفیهٔ هوا مفید هستند که بتوانند به آسانی ذرات 10 میکرومتر ($10\,\mu m$) و بزرگتر از آن را که توسط هوا انتقال می‌یابند، جدا سازند.

شکل 1

Power Plant Academy

فویل سائیده شده دهانک هوا در

طبقه اول



شکل 2

کثیف‌شدن یا تشکیل رسوبات درکمپرسور:

کارایی یک کمپرسور محوری در میان سایر ملاحظات به یکنواختی سطح تیغهٔ ساکن و تیغهٔ چرخشی بستگی دارد. این سطوح ممکن است با فرسایش زبر و خشن شوند، اما معمولاً علت آن بیشتر به خاطر فرو رفتن موادی است که به سطوح می‌چسبند اینها عبارتند از: بخارهای مواد نفتی، دود و نمک دریا.

شکل 3 جرمهای قرار گرفته بر لبهٔ برجستهٔ تیغه‌های چرخشی را نشان می‌دهد. بازده یک توربین می‌تواند به اندازهٔ 20 درصد کاهش یابد. این در مواردی است که نهایت رسوبات در کمپرسور قرار گیرد . اندازه گرفتن مقدار این رسوبات سخت است زیرا این مساله نه تنها به نوع و

کیفیت مواد فرو رفته بستگی دارد بلکه به خواص ویژهٔ این مواد که موجب فرو رفتن و چسبندگی آنها می‌شود هم بستگی دارد.

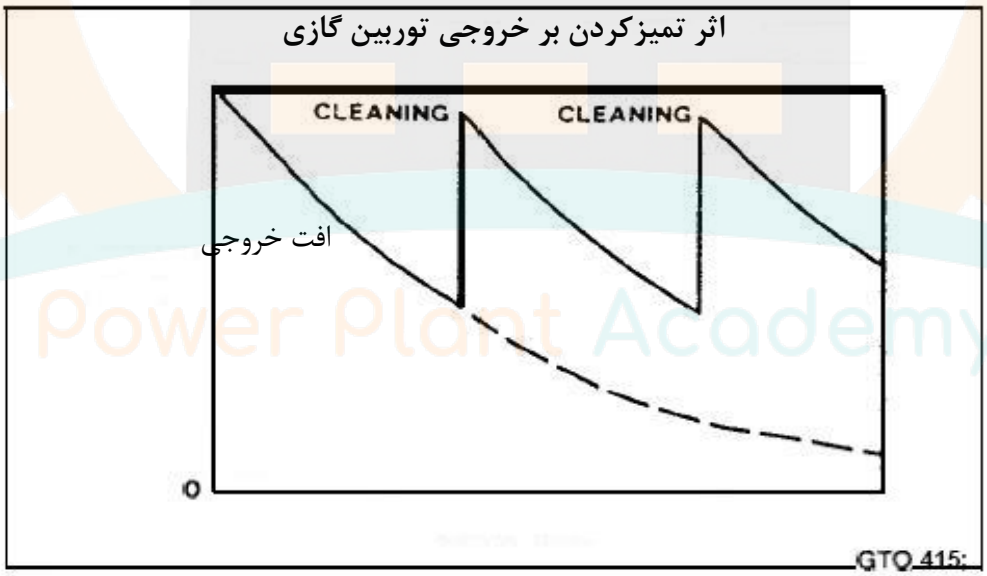
فیلتراسیون می‌تواند تنها بخشی از مواد را جدا سازد نه همهٔ آنها را. مثلاً بخارهای خاص چسبناکی هستند که وقتی آنها متراکم می‌شوند می‌توانند از فیلترها عبور کنند و بخارهای دیگری هم ممکن است بین فیلتر و کمپرسور ایجاد شوند مانند تراوشات نفتی چرب که به صورت گه‌گاه ایجاد می‌شوند.

خوشبختانه، امروزه راههای زیادی برای جداسازی این جرمهای چسبنده از تیغه‌های کمپرسور وجود دارد یکی از اینها استفاده از مواد پاک کننده و سایندهٔ ملایم مانند پوستهای به هم فشردهٔ فندق و بادام و ... است که به میزان کنترل شده‌ای به داخل کمپرسور فرو برده می‌شود و در طول عملکرد برخی یا همهٔ این مواد ته‌نشین شده (یعنی جرمها) (با توجه به ماهیت آنها) جدا می‌شوند. تجربه‌های اخیر نشان داده که استفاده از پاک‌کننده‌های ساینده ممکن است به پوشش تیغهٔ کمپرسور صدمه بزند و سطح تیغهٔ کمپرسور را از بین ببرد. ترکیبات پاک کنندهٔ ساینده، علت اصلی مسدود شدن راه خنک‌کننده‌ها می‌باشد که به طور مختصری بحث خواهد شد. به خاطر این دلایل به طور کلی پاک‌کننده‌های ساینده برای هر توربینی سفارش نمی‌شوند و قطعاً در مورد توربینهای دارای تکنولوژی پیشرفته نیز سفارش نمی‌شوند.

دستورالعمل GEL 41042 جنرال الکتریک برای کاربرد هر یک از عوامل پاک‌کنندهٔ کمپرسور در توربینهای گازی GE (جنرال الکتریک) مورد استفاده قرار می‌گیرد. اکثر کارهای اخیر در صنعت نشان داده است که پاک‌کننده‌های عاری از خاکسترهای ویژه در جداسازی جرمهای تیغهٔ کمپرسور بسیار موثر هستند. سیستمهای شویندهٔ آبی آن لاین و آف لاین هر دو قابل استفاده هستند. آف لاین، محلول پاک‌کننده را به داخل کمپرسور تزریق می‌کند در حالیکه

کمپرسور با سرعت عجیبی در حال چرخیدن است. آن لاین، به اندازهٔ آف لاین تاثیرگذار نیست اما این مزیت را دارد که می‌تواند در حین عملکرد توربین به کار رود.

شکل 3



شکل 4

توصیه‌های شیمیایی شستشوی آبی به طور ویژه در GEI- 41042 توضیح داده شده است.

شکل 4 اثر پاک کردن کمپرسور را بر بازده توربینهای گازی نشان می‌دهد. این نشان می‌دهد که وقتی میزان رسوبات در کمپرسور افزایش می یابد بازده به طور نمایی کاهش می‌یابد و بازده توربین تقریبا به مقدار ذرات رسوبی کاهش می یابد.

فرسایش کمپرسور

فرسایش اجزاء کمپرسور به خاطر جرمهای نمناک نمک دریا، اسیدها و دیگر مواد زیان‌آور است. علاوه بر زنگ‌زدن بخشهای کمپرسور، چنین فرسایشی موجب ایجاد ناهمواری در تیغهٔ کمپرسور می‌شود. ناهمواریها هم موجب می‌شودکه فویلهای هوایی زبر شوند و در نتیجه موجب کاهش عملکرد آیرودینامیک کمپرسور می‌گردد. این ناهمواری همچنین موجب افزایش فشارهای موضعی و کاهش عمر تیغه می‌گردد. علاوه بر فیلتراسیون ، پوشش حفاظت کنندهٔ تیغه و چرخها در محیطهای دارای ترکیبات خورنده ، بسیار موثر بوده است.

فرسایش بخش گرم:

احتمالاً مهمترین چیزی که غالباً در اثر فیلتراسیون نامناسب هوا با آن مواجه می‌شویم مربوط به ته‌نشینی مواد خاصی است که پس از ترکیب‌شدن با سولفور و اکسیژن در طول فرآیند احتراق روی سطح برخی بخشهای مسیر گاز گرم قرار می‌گیرد. این بخشها شامل مراحل احتراق، انتقال قطعات، دیواره‌های دریچه و پره‌های توربین می‌شود. چهار فلز به ترتیب اهمیت عبارتند از:

سدیم (Na)، پتاسیم (K)، وانادیوم (V) و سرب (Pb) . این فلزات مانند سولفات یا اکسیژن موجب می‌شود به طور طبیعی غباری از اکسید حفاظت‌کننده روی بخشهای مسیر گاز گرم بنشیند و موجب در هم گسیختن بخشهای اکسید شده می‌شود البته بسیار سریعتر از هنگامیکه گاز آزاد شدهٔ آنها وجود دارد. آنها ممکن است در سوختها و در آب یا بخار و همچنین در هوای مدخل یافت شوند. حدود قابل قبولی در GEI – 41047 ارائه شوند. اثر این آلودگیها بر توربین در بخش منابع نیز بحث می‌شود. رابطهٔ زیر استفاده می‌شود تا به محاسبهٔ محدودیتهای هوای مدخل بپردازد:

$$\frac{(A)}{(F)}X_A+\frac{(S)}{(F)}X_S+X_F$$

معادل آلودگی در سوخت است که در آن :

$\frac{(A)}{(F)}$ = نسبت هوا به جرم جاری از سوخت

$\frac{(S)}{(F)}$ = نسبت بخار به جرم جاری از سوخت

X_F = غلظت آلودگی در (وزن) سوخت (ppm)

X_A = غلظت آلودگی در (وزن) هوای مدخل (ppm)

X_S = غلظت آلودگی در (وزن) بخار یا آب تزریق شده (ppm)

وقتی غلظت مواد موثر در سوخت، در آب یا در بخار به طور دقیقی مشخص نیست، یک حدی برای این آلودگیها در هوای مدخل یعنی 0/005 ppm به طور طبیعی قرار خواهد گرفت که مبتنی بر تجربه است و موجب تاثیر ناچیزی بر سطح کلی آلودگی می‌شود و کمترین اثر را بر بخشهای زنده می‌گذارد مراجعی باید ساخته شوند تا به تشخیص سوخت مناسب کمک کنند.

مسدود کردن مسیر خنک کننده‌ها:

جریانی از هوای خنک‌کننده در مسیرهای مراحل احتراق، دریچه‌ها و پره‌ها نیاز است تا درجه‌حرارت مواد این بخشها را کنترل کنند. زمانیکه جریان خنک‌کننده از کمپرسور توربین گازی استخراج می‌شود ممکن است آلودگی دهانهٔ ورودی در اثر هوای خنک کننده ایجاد شود. اگر این آلودگیها موجب گرفتگی مسیرهای خنک‌کننده شود، انتقال گرما کاهش می‌یابد و درجه حرارت افزایش می‌یابد و ممکن است به سطحی برسد که موجب ترک خوردگی شود. این مساله در تکنولوژی پیشرفتهٔ ماشینهای «F» بسیار بحرانی است زیرا درجه حرارت بالاتر از آنها نیاز به سیستم بسیار پیچیده‌ای از مسیرهای خنک‌کننده دارد. غبار زغال، غبار چسب و خاکسترهای معلق بسیار بد هستند زیرا آنها موجب رسوب بستن می‌شوند.

محیط‌ها:

هوای محیط به وسیلهٔ جامدات، مایعات یا گازها می‌تواند آلوده شود. از این سه مورد، آلودگی جامدات معمولی‌ترین است و معمولاً موقعیت جدی‌تری دارد. کیفیت جامدات می‌تواند از روشهای مختلفی توصیف شود مانند میلی‌گرم‌های هر متر مکعب یا گرینهای (مقیاس وزن) هر 1000 پا مکعب. یک مقیاس مناسبی که جنرال الکتریک در نظر می گیرد عبارت است از اجزاء هر میلیون (ppm) یعنی حجم آلودگیهای هر میلیون واحد حجم هوا. حقیقت این است که یک مقیاس مناسب فوراً شرح می‌دهد که به طور کلی مقدار غبار کاملاً کمتر از حجم هوا است. اما محاسبات برگرفته از نسبت حجم زیاد توربینهای گازی مشخص می‌کند که مقدار کلی غباری که فرو برده شده زمانی محسوس است که بیش از صدها یا هزاران ساعت حریق وجود داشته باشد.

در ایالات متحده ، نمایندهٔ حفاظت محیطی از ذرات معلق در هوا بطور متناوب در 4000 مکان نمونه گیری می کند و نتایج بررسی سالانه منتشر می‌شود و تغییر انحراف معیار آماری میزان بارگیری گرد و غبار در سایت آزمایشی شمارهٔ4 ایدهٔ خوبی به ما می دهد. رنج مشخصی از این

مقادیر در شکل 5 نشان داده شده است. منحنی A میزان درصد مکانهای U.S (ایالات متحده) را نشان می‌دهد که از میزان بارگیری گردوغبار داده شدهٔ 50 درصد زمان، متجاوز شده است. منحنی B درصد مکانهای آزمایش را نشان می‌دهد که از میزان بارگیری گردوغبار خاص 10 درصد زمان، تجاوز می‌کند. این منحنی‌ها نشان می‌دهند که غلظت غبار در اکثر موقعیتها حدود ٪6 - 0/03 ppm است اما گه‌گاهی میزان آن در بعضی بخشها 0/3 – 0/2 ppm است. بایددانست مکانهای بخصوص ممکن است بطور مشخصی از این مقادیر نوعی منحرف گردند. این منحنی فقط از اطلاعات U.S (ایالات متحده) گرفته شده است و ما انتظار ارزیابی‌های مشابهی را در دیگر کشورهای توسعه یافته که دارای آب و هوای معتدل هستند داریم.

میزان بارگیری گردوغبار در مناطق صحرایی خصوصاً بخشهایی که با شنها و طوفانهای خاکی رو به رو هستند بسیار بالاتر از آن بخشهایی است که در ایالات متحده مورد بررسی قرار گرفت. غلظت در طوفانهای شنی ممکن است چندصد برابر ppm در دوره چندین ساعته باشد. اما در سطوح دراز مدت ممکن است میانگین یک تا پنج ppm باشد. وقتی باد در این نواحی می‌وزد، ابتدا ذرات خاکی بزرگتر در هوا معلق می‌شوند و ذرات کوچکتر بیشتر به هم می‌چسبند. وقتی ذرات بزرگتر به زمین می‌افتند، آنها این سطح را آشفته می‌کنند و ذرات ریزتر به بیرون می‌پرند.

طبق قانون استاک، ذرات ریز به طور آهسته ته‌نشین می‌شوند و بنابراین آنها به مدت طولانی معلق باقی می‌مانند و نتایج حاکی از این است که غلظت گردوغبار در نزدیک زمین بیشتر می‌باشد و موجب می شوند که آن ذرات در بخش بلندتر، زبرتر باشند. رابطهٔ دقیقی میان غلظت گردوغبار و بلندی (ارتفاع) از سطح زمین وجود ندارد اما به طور کلی، اطلاعات موجود منجر به کاهش رنج شکل شماره 6 میگردد. این نشان می‌دهد که بالا بردن یک قسمت از فیلتر

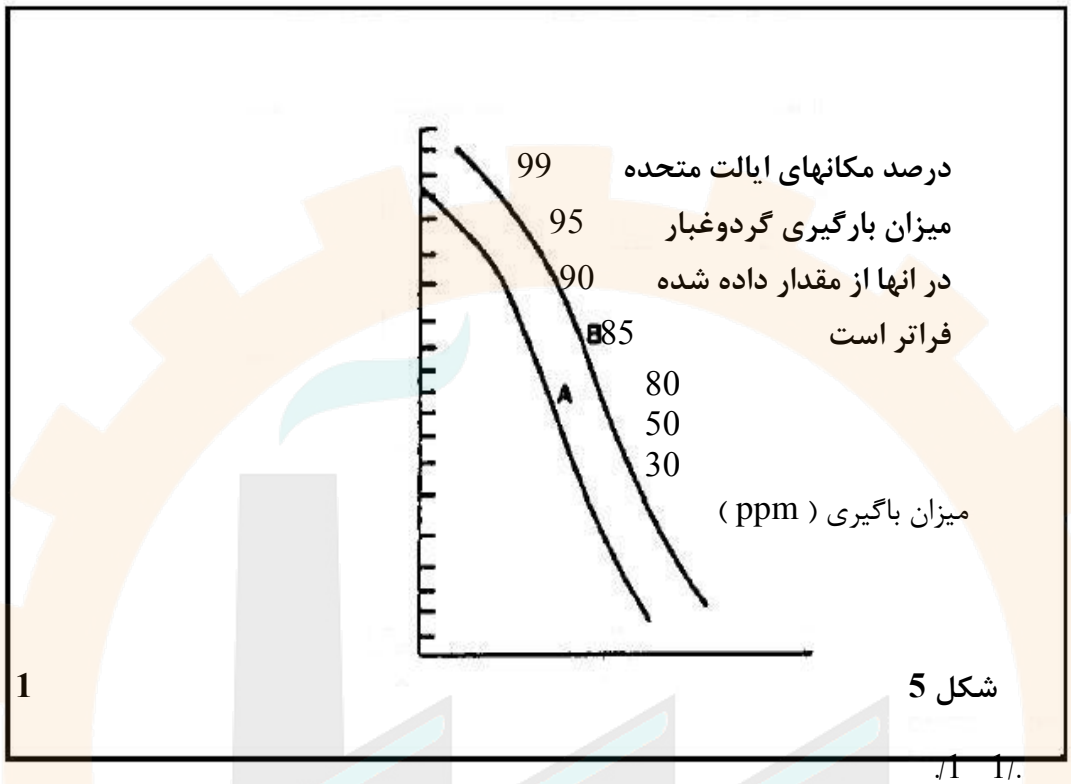
تا 2 پا (20 ft) در این هوا، در مقایسه با قسمت نصب شده بر روی زمین بـارگیری گردوغبـار را نصف می‌کند.فارغ از زمان و مکان، توزیع اندازهٔ ذرات معلق گرد و غبار در هوا متغیر است.

به طور کلی ، بالا بودن مقدار تراکم گردوغبار به گردوغبار خشـن و زبـر بسـتگی دارد و پایین بودن مقدار آن به نرمی و ریز بودن گردوغبار وابسـته اسـت. ذرات بزرگتـر گردوغبـار بـه سرعت می‌افتند در حالیکه ذرات کوچکتر احتمالاً به صورت معلق در هوا باقی می‌مانند در نتیجه، گونه‌های گردوغبار نزدیک به منبع آلودگی زبرتر از گونه‌هایی است که از منبع اصلی فاصله دارند.

برخی از مفاهیم راجع به میزان انتشار که به گونهٔ عملی تجربه شده می‌تواند با رجوع به گردوغبارهای استاندارد در منطقهٔ آریزونا یعنی آریزونای زبر و آریزونای نرم که به طور وسیعی در آزمون وسایل تصفیهٔ هوا به کار رفته توصیف شود. جدول 1 انتشار انبوهی از آنها را مانند تابعی از یک اندازهٔ ویژه نشان می‌دهد.

جدول 1: ترکیب (اجزاء) گردوغبار راه‌های آریزونا

اندازهٔ ذرات (میکرون)	درصد نامی کل جرم ذرات	
	غبار زبر	غبار نرم
0-5	12	39
5-10	12	18
10-20	14	16
20-40	23	18
40-80	30	9
80-200	9	

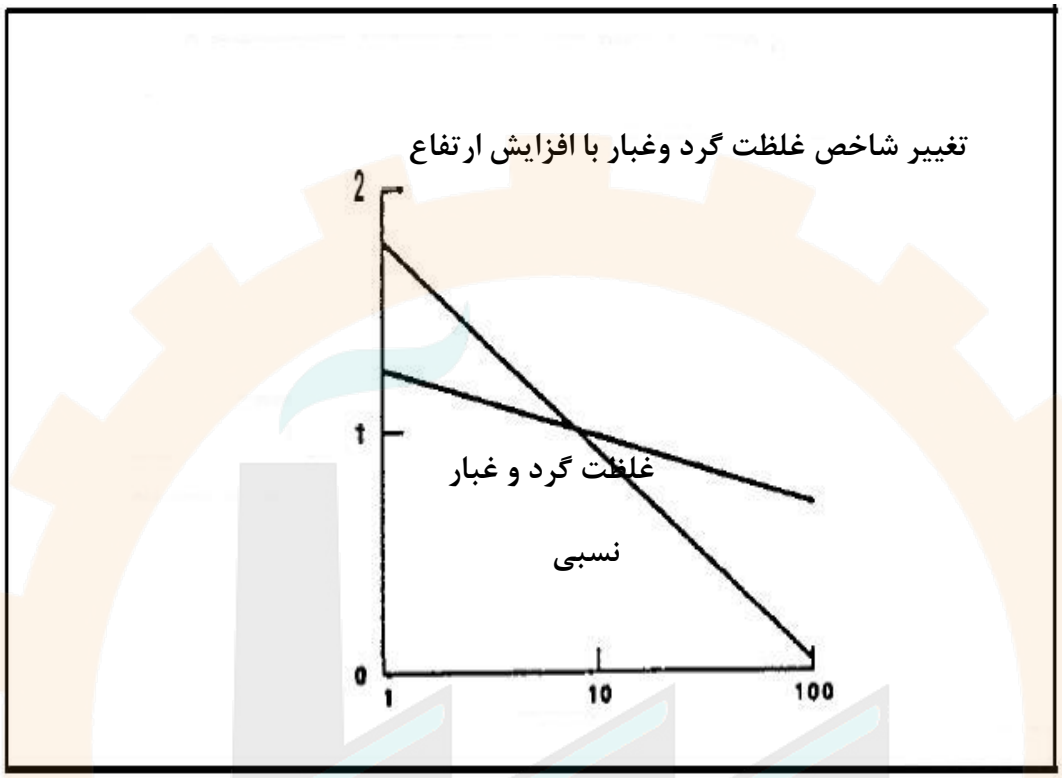


چون حجم ذره، متناسب با مکعب قطر آن است این مطلب فهمیده می‌شود که تعداد زیادی از این گردوغبارها دارای ذرات ریز و تعداد کمی از آنها دارای قطر بزرگ هستند.

ترکیب شیمیایی این ذرات معلق از اهمیت خاصی برخوردار است. خصوصاً با توجه به سدیم و پتاسیمی که در فرآیند فرسایش گرم دخالت می‌کنند. جنرال الکتریک بسیاری از گونه‌های گردوغبار را از اطراف جهان بررسی کرده است و این مساله کشف شد که ذرات معلق موجود در هوا همچون خاکهای محلی عملکردی ته حدود بیش از دو برابر این عناصر دارد.این

رویدادهای نامتعارف ظاهری به خاطر ذرات نرم خاک، مایل هستند که بیشتر در سدیم و پتاسیم باشند، و این ذرات در هوا معلق می‌مانند در حالیکه ذرات بزرگ به زمین بر می‌گردند.

ذرات معلق گرد وغبار در موقعیتهای مختلف دارای ترکیبات مختلفی هستند که تا اندازه‌ای مرتبط به خاک منطقه و آلوده کننده‌های صنعتی رها شده در هوا است. به طور کلی بیشتر گردوغبارهای ساینده از مناطق صحرایی آمده‌اند که خاک آنها قبلاً بستر اقیانوس بوده است . سدیم و پتاسیم در اکثر موارد حدود 5 درصد وزن را می‌سازند. اندازه‌های 3-1 درصد واقعی‌تر هستند. برای مثال فرض کنید متوسط بارگیری گرد و خاک در درازمدت 2 درصد سدیم به اضافه پتاسیم است. بنابراین مقدار خاک فرسایش یافته 0/06 ppm = 0/02 × 3 است. با فرض اینکه نسبت جرم سوخت یا هوای واقعی 1 : 50 است که این برابر است با 3 ppm = 0/06 × 50 سدیم به اضافهٔ پتاسیم موجود در سوخت، که این میزان بیش از حد است و دلالت می‌کند که ممکن است به تصفیهٔ هوای مدخل احتیاج شود.



شکل 6

توصیف تجهیزات: تجهیزاتی که توسط جنرال الکتریک برای تصفیهٔ هوای مدخل طرح شد به دو دسته تقسیم می شوند: معمولی و خودپاک کن. فیلترهای معمولی شامل جدا کننده‌های اینرسی و فیلترهای نوع Media می‌شوند. که این نوع دوم معمولا وقتی کثیف شدند تعویض می‌شوند. فیلترهای خود پاک‌کن در دههٔ 1960 معرفی شدند و به خوبی پذیرفته

شدند و امروزه 80 تا 90 درصد سیستمهای جدید فروخته شده توسط جنـرال الکتریـک از ایـن نوع هستند. اینها فیلترهای نوع Media هستند که توانایی دارند به طـور خودکـار خودشـان را دوباره نوکنند آنها این کار را با ریختن گردوغبار جمع شده انجام می‌دهند.

مهمترین مشخصهٔ یک فیلتر هوا جمع راندمان آن است که از طریق وزن ذرات وارد شده و باقی مانده محاسبه می‌شود.

$$\text{راندمان} = \frac{W_{\text{ورودي}} - W_{\text{باقي مانده}}}{W_{\text{ورودي}}} \times 100 \text{ (درصد)}$$

وقتی اندازهٔ ذرات تغییر می‌کند راندمان هم تغییر می‌کند به ویـژه وقتـی ذرات کوچـک می‌شوند راندمان پایین می‌آید.

فیلترهای با راندمان بالا:

فیلترهایی که راندمان بالایی دارند از یک فیلتر خاص متوسط پشم شیشه‌ای یا ورقه‌های خاصی استفاده می‌کنند تا به راندمان خوبی بـرای همـهٔ ذرات حتـی آنهـایی کـه کـوچکتر از 1 میکرومتر $(1\mu m)$ هستند دست یابند . شکل 7 شاخص راندمان فیلتر را به عنوان تابعی از اندازهٔ ذره نشان می‌دهد. وقتی مجموع راندمان بسیار بالا باشد کیفیت هـوا نیـز بالاسـت حتـی وقتـی هوای محاصره شده به شدت آلوده شده باشد.

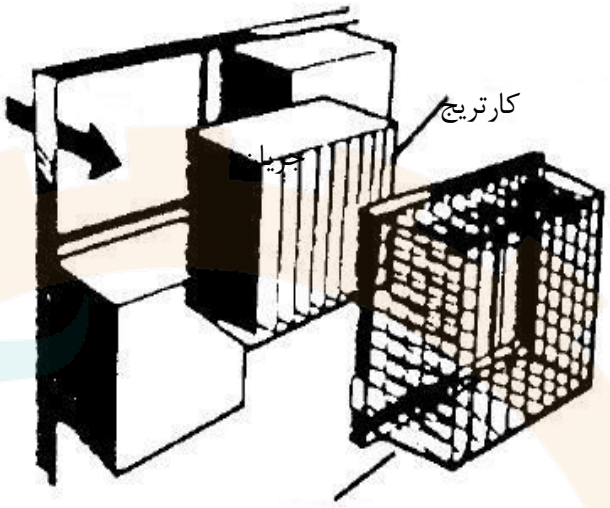
به طور کلی فیلترهایی که راندمان بالایی دارند یا از یک فیلتر چهارگوش شکل می‌گیرند یا از یک فیلتر استوانه‌ای از جنس فلز یا مقوا، به غیر از شکل آنها، دو تفاوت اصلی دیگر در نـوع ابزار استفاده شده و طرح قرار گرفتن در مکانی که این قطعه وصل می‌شود وجود دارد.

فیلترهای صفحه‌ای شامل یک وسیلهٔ بارگیری عمیق نوع MEDIA هستند که ذرات به طور واقعی در درون بدنهٔ وسیله نوع MEDIA به دام می‌افتند. وسیلهٔ بارگیری عمیق یک بافت موجی شکل دارد که اجازه می‌دهد ذرات نفوذ پیدا کنند . فیلترهای استوانه‌ای که از جنس فلز یا

مقوا می‌باشند شامل یک بارگیری سطحی نوع MEDIA هستند که ذرات موجود در سطح خارجی را وقتی که آنها یک لایه‌ای از گرد و خاک را شکل داده‌اند به دام می‌اندازند. این لایهٔ گرد و خاک به طور واقعی باعث می‌شود مجموع راندمان فیلتری که با زمان کارآمدتر می‌شود، بالا رود این امر مشخصه بارگیری سطحی است که اجازه می‌دهد گرد و خاک در طول فرآیند پاک‌کنندگی خارج شود.

طرز قرار گرفتن قطعه‌های فیلتر از اهمیت ویژه دیگری برخوردار است. اگر هوای آلوده به طور مداومی به آنها نفوذ کند دیگر نقطه‌ای که دارای راندمان بالایی باشد وجود ندارد. فیلترهای استوانه‌ای از جنس فلز یا مقوا، سودمندتر از فیلترهای چهارگوش هستند زیرا آنها یک درپوش از جنس نئوپرن (لاستیک مقاوم مصنوعی) مدور و پیوسته دارند که به طور ثابتی به جزء مربوط ضمیمه می‌شود.

می‌توان این در پوش را برای آنکه در محل مربوطه قرار گیرد به شکل دلخواه تغییر داد. فیلترهای چهارگوش را می‌توان به شکلهای مختلفی نصب کرد اما هیچ یک مانند روش نصب

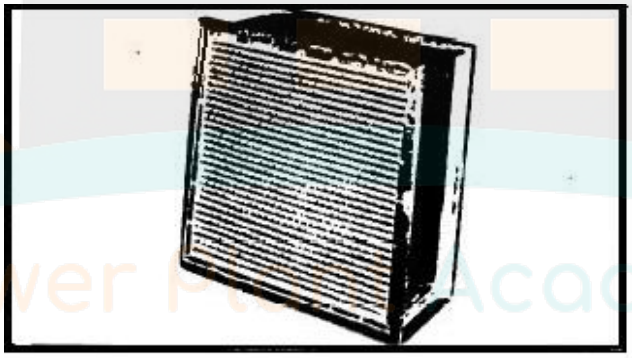


فیلترهای راندمان بالا

شکل 8

قاب سیمی

فیلتر راندمان بالا



شکل 9

فیلترهای چهارگوش زمانی سودمند هستند که یک قسمت قابل تعویض، به وسیلهٔ یک قاب سیمی نگه‌داشته شود (شکل 8) یا با یک ساختار درست بـه قـاب فلـزی فیلتـر نـوع MEDIA متصل گردند (شکل 9). فیلترهای استوانه‌ای از جنس فلز یا مقوا (کارتریج) همراه قاب و فیلتـر نوع MEDIA به کار رفته یک مجموعهٔ کاملی را تشکیل می دهند و به یک واحد مجزا تبـدیل می شوند (شکل 10).

فیلترهایی که راندمان بالایی دارند دارای یک افت فشار اولیه هستند کـه چنـین امـری مربوط به ساختار آنها، نصب و کیفیت هوایی که از هر قسمت فیلتر عبور می‌کند است. فیلترها به طور طبیعی از یک MEDIA تا (خم) دار استفاده می‌کنند تا سطح تماس را زیاد کنند این امر افت فشار را کاهش می‌دهد و توانایی نگهداری گرد و خاک را افزایش می‌دهـد. چنانچـه وقتـی گردوغبار انباشته می‌شود افت فشار بالا می‌رود . این افزایش در ابتـدا نسـبتاً آهسـته اسـت، امـا هنگامیکه فیلتر به پایان عمر مفیدش نزدیک می‌شود تسریع می‌یابد.

یک طرح نمونه‌ای ممکن است افت فشار جدید و تمیزش حدود یک اینچ آب باشد، افت فشار پایانی به روابط میان عمر فیلتر و عملکرد توربین گازی وابسته است.

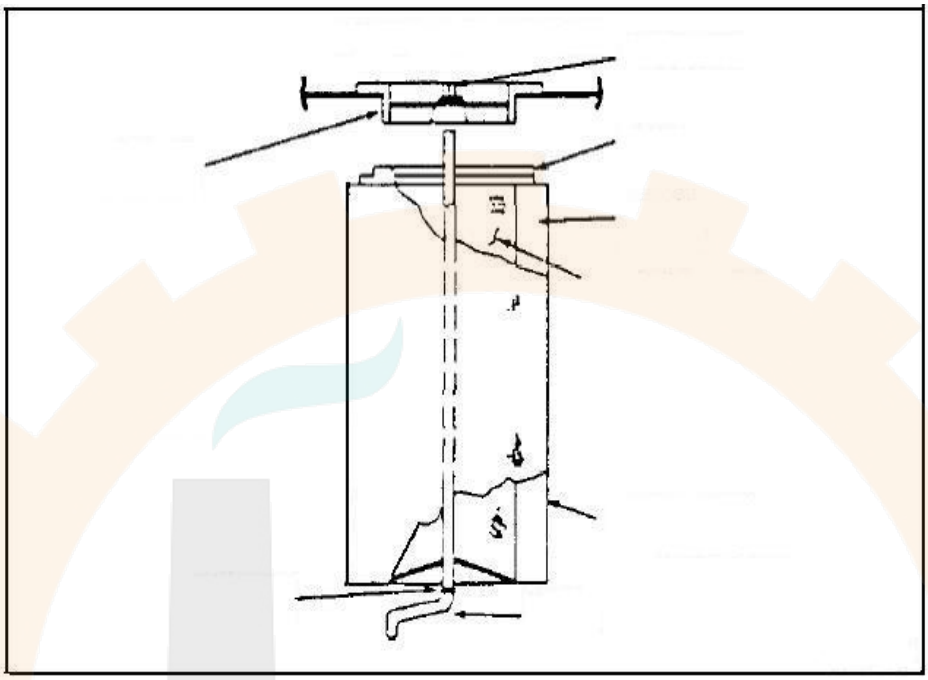
جنرال الکتریک، میزان افت فشار پایانی 2/5 اینچ را برای عملکرد مناسب در فیلترهای صفحه‌ای و 4/0 اینچ را در فیلترهای کارتریج (از جنس مقوا یا فلز) استوانه‌ای پیشنهاد می‌کند.

از مشخصات مهم فیلتر، میزان توانایی حفظ گرد و خاک است که چنین امری بـه عمـر فیلتر بستگی دارد. میزان توانایی حفظ گردوغبار را به آسانی نمی‌توان توضیح داد زیـرا ایـن امـر مربوط به اندازهٔ ذرات انتشار یافته در گردوغبار معمولی است. برای افـت فشـار داده شـده، یـک فیلتر می‌تواند جرم بیشتری از ذرات بزرگ را نسبت به ذرات کوچک نگه دارد. بنابراین یک فیلتر با گردو غبار ریز سریعتر از همان مقدار ماسه میتواند بارگیری شود. سـازندگان فیلتـر معمـولاً از

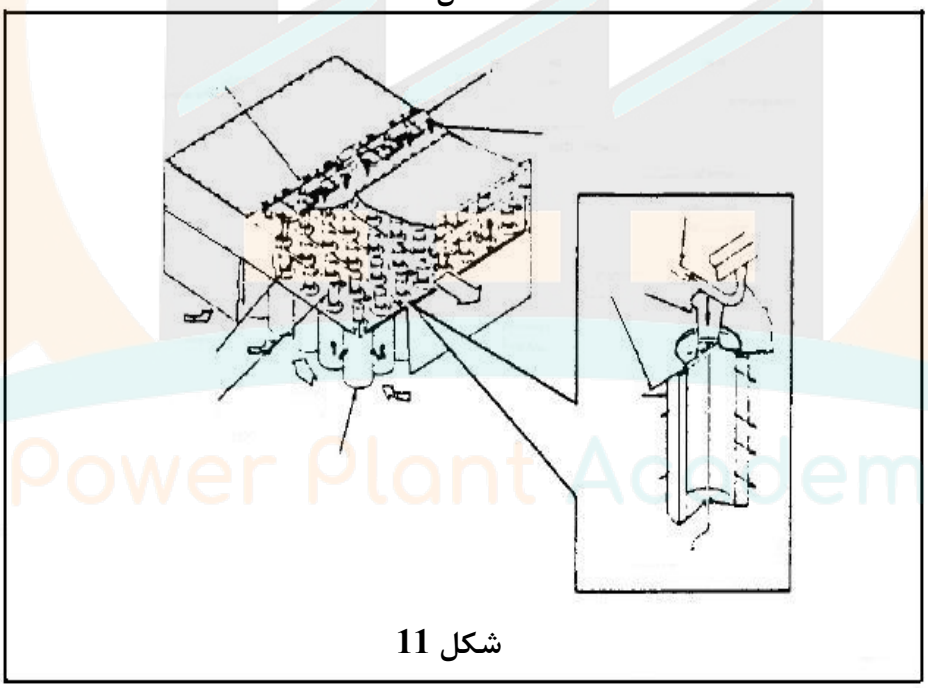
خاک نرم آریزونا برای ارزیابی و امتحان فیلترهای با کارایی بالا استفاده می‌کنند. این امر بسیار منطقی است زیرا آن یک میزان قابل قبولی را فراهم میکند که حتی در محیطهایی که ذرات بزرگتر در هوا وجود ندارد نیز معتبر است.

فیلترهای خود پاک‌کن:

تصفیهٔ مدخل خود پاک‌کن که در دههٔ 1970 توسعه یافت،{فیلترهای خود پاک کن} ترکیبی از اثرات فیلترهای باراندمان بالا و فیلترهای با هزینه نگهداری پایین میباشند، ترکیب این مشخصات با استفاده از بخشهای یک فیلتر مانع که گردوغبار قرار گرفته بر سطوح را جمع آوری می‌کند و همچنین در معرض هوای محیط قرار دارد درک میشود.مجموع راندمان نوعا از فیلترهای دارای راندمان بالا میباشد وقتی افت فشار به سطح از قبل تعیین شده برسد فیلتر به وسیلهٔ پالسهای کوتاه برگشتی هوایی تمیز می‌شود که یا از کمپرسور توربین گازی خارج شده اند یا از منبع داخلی سرچشمه گرفته اند.



شکل 10



شکل 11

Power Plant Academy

هر بخشی از ساختمان فیلتر شامل تعداد زیادی از عناصر و المانهای فیلتر می‌باشد. تنها تعداد کمی از این المانها در هر زمان تمیز می‌شوند، در نتیجه جریان هوای ورودی به توربین گازی تحت تاثیر فرآیند تصفیه و جداسازی قرار نمی‌گیرد.

عملکرد یک فیلتر خود پاک‌کن در شکل شمارهٔ 11 نشان داده شده است. هوا از میان بخش‌ها و المانهای فیلتری به داخل یک بخش تصفیهٔ هوایی حرکت می‌کند. گردوغبار موجود در هوا روی سطحی که از فیلتر نوع Media ساخته می‌شود و از سلولها و بخش‌هایی که قبلاً توضیح داده شد، یا سلولهای مرکب، یا سلولهای ترکیبی و یا صفحه‌ای ترکیبی از فیلتر ساخته شده گرفته می‌شود و تصفیه می‌گردد.

عناصر و بخش‌های فیلتری نوعاً به فرم استوانه‌های فشنگی و گلوله‌ای شکل می‌باشند. کاغذ و یا صفحهٔ فیلتری به منظور افزایش ناحیه و سطح در دسترس تاه خورده است. تعداد زیادی از المانهای فیلتری مورد استفاده قرار می‌گیرند در نتیجه سرعت هوای عبوری از داخل فیلتر نوع Media بسیار پایین است در حدود 3 ft/min تا 2/5. این سرعت کم میزان فشار را کاهش و ظرفیت نگهداری گردوغبار را افزایش می‌دهد و مساله قابلیت پاکسازی و تصفیهٔ فیلترها کاملاً ضروری و مهم است. با انباشته شدن گرد وغبار در فیلترها، میزان فشار نسبتاً افزایش می‌یابد. وقتی که فشار در بخش ویژهٔ تصفیهٔ هوایی به مقدار مشخص می‌رسد که معمولاً از نظر اندازه بین 3 تا 4 اینچ در آب می‌باشد تمیز کردن و پاکسازی ضروری می‌شود و بایستی آغاز گردد.

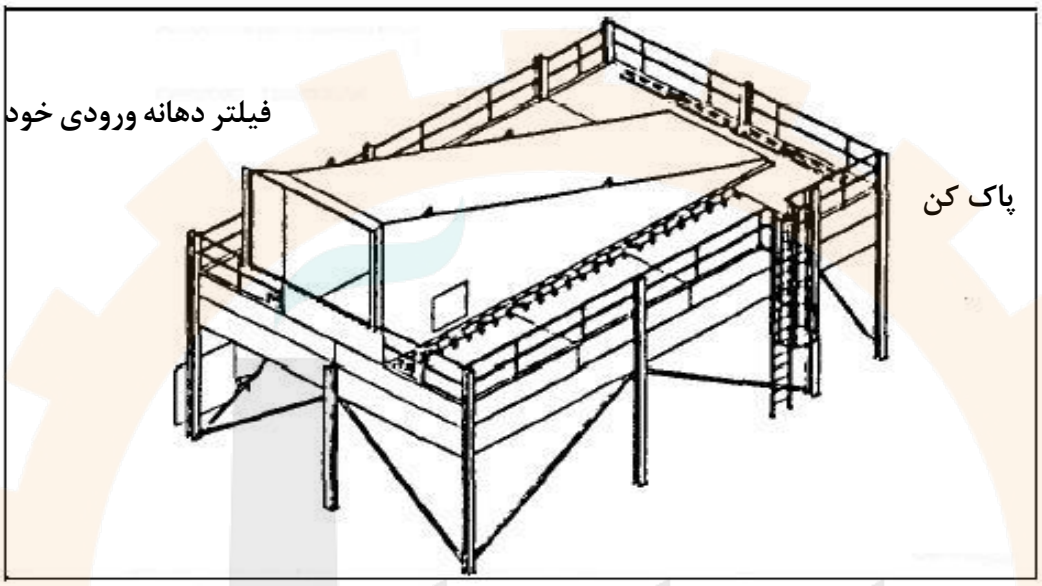
پاکسازی متعدد فشار را از نظر عددی تامیزان 100 psig با هوای متراکم تنظیم می‌نماید و از کمپرسور توربین گازی یا از سایر منابع مناسب خارج می‌گردد. به محض دریافت دستور از بخش ترتیب‌گر کنترل اتوماتیک یک سلونوئید یا سیم‌پیچ استوانه‌ای شکل با بکارگیری

دریچهٔ هوایی، پالس‌ها یا ضربه‌های کوتاهی (در حدود 0/1 S) را به داخل فیلترها هدایت می‌نماید و این باعث شوک می‌گردد و باعث ایجاد جریان برگشتی از درون فیلتر می‌شود و باعث راندن گردوغبار انباشته شده از خارج بخش‌ها و المانهای فیلتری و همچنین منجر به پراکنده ساختن گرد و خاک می‌شود. بازگشت و مکش دوبارهٔ این گردوغبارها در فیلترهای کم سرعت بسیار اندک می‌باشد. انتخاب و طراحی سرعت اینگونه فیلترها به ترتیب بالاتر از 320 و در حوالی 580 فوت در دقیقه می‌باشد.

فرآیند پاکسازی و تصفیهٔ تعداد کمی از فیلترها درمدت زمانی معین ادامه می‌یابد تا اینکه تمام بخش‌ها و قسمت‌ها تمیز شده و میزان فشار به سطح مورد قبول کاهش می‌یابد. یک چرخهٔ منفرد و تنهای تصفیه و پاکسازی معمولاً در حدود 20 تا 30 دقیقه کامل می‌شود. این مطلب بیان می‌دارد که هر قسمت و بخش می‌تواند حجم سنگینی از گردوغبار را هندل نماید، مثلاً در توفانهای دارای شن و ماسه این مطلب صادق است که ما افزایش بیش از اندازه‌ای در میزان فشار نداریم.

عناصر و بخش‌های فیلتری وقتی که شروع به بروز نشانه‌های خرابی می‌کنند تعویض می‌شوند که این خرابی‌ها در اثر گرما و اشعهٔ ماورای بنفش خورشید می‌باشد، یا زمانی که چرخهٔ تصفیه نتواند کاهش فشار را بیش از این تحمل نماید و آنرا برگرداند و بهبود بخشد. در حالی که این دوره برای همهٔ محیط‌ها یکسان نیست. آزمایش‌ها عمر حدود 2 ساله را در صحرای خاورمیانه نشان می‌دهند. عمر فیلتر ممکن است در نهایت یک محیط ناملایم ، که مملو از حجم عظیمی از گردوغبار سیمانی می‌باشد، که با هوا انتقال می‌یابند، پایین بیاید که در حدود 100 نفر ساعت زمان برای تکمیل تغییرات در یک توربین گازی مدل MS7001 نیاز می‌باشد.

شکل 12 به نوعی یک قسمت از خود پاک‌کن را که بر روی توربین گـازی مـدل MS 6001 نصب گردیده است نشان می‌دهد.



شکل 12

که شامل چند صد المان فیلتری است که در مدلهایی که به یـک قسـمت نـوک تیـز و باریک تصفیهٔ هوایی متصل شده‌اند سوار می‌شوند. هر مدلی دارای بخش‌هـا و المانهـای فیلتـری است که با پوششی از فلز پوشانیده شده‌انـد کـه در مقابـل خسـارت و صـدمه از آنهـا محافظـت می‌نماید. سرعت هوای بخش فوقانی که وارد مدل خودپاک کن می‌گردد پایین اسـت در نتیجـه این مدل خودش به عنوان یک کلاهک دودکش هوایی عمل می‌کند. برای کاهش حجـم بخـش عبوری هوا، این مدلها ممکن است که در دو یا چند ردیف قرار گیرند. پایین‌تـرین ردیـف از ایـن مدلها به عنوان سکویی برای دسترسی به ردیف‌هـای بـالایی عمـل مـی‌نمایـد. راه‌هـای عبـوری،

نردبان‌ها و نرده‌هایی اگر لازم باشد برای دسترسی ایمن فراهم می‌گردند. زمانی‌که دسترسی به بخش تصفیه هوایی که دور از دسترس است مورد نیاز باشد بجای یک درب، یک پیچ که روی یک دریچه قرار گرفته است فراهم گردیده است.

که در نتیجه معاینه و تعمیر قسمت‌های داخلی از بخش‌های خارجی به راحتی انجام می‌پذیرد. تشخیص‌دهنده‌های اندازهٔ فشاری یا سوئیچ فشاری برای خواندن میزان فشار و کنترل عملکرد سیستم خود پاک‌کن فراهم گردیده است. سیستم آلارمی یا هشداری برای تشخیص فشار بیش از اندازه در سیستم یا کاهش فشار در جریانهای در حال تصفیه فراهم شده است. سوئیچ‌های فشاری همچنین برای ایجاد کنترل و خاموشی در هنگامیکه اتفاقی رخ می‌دهد و فشار تشخیصی در سیستم بطور خطرناکی افزایش می‌یابد فراهم گردیده‌اند.

مدل فشنگی فیلترهایی که دارای قسمت خود پاک‌کن نمی‌باشند:

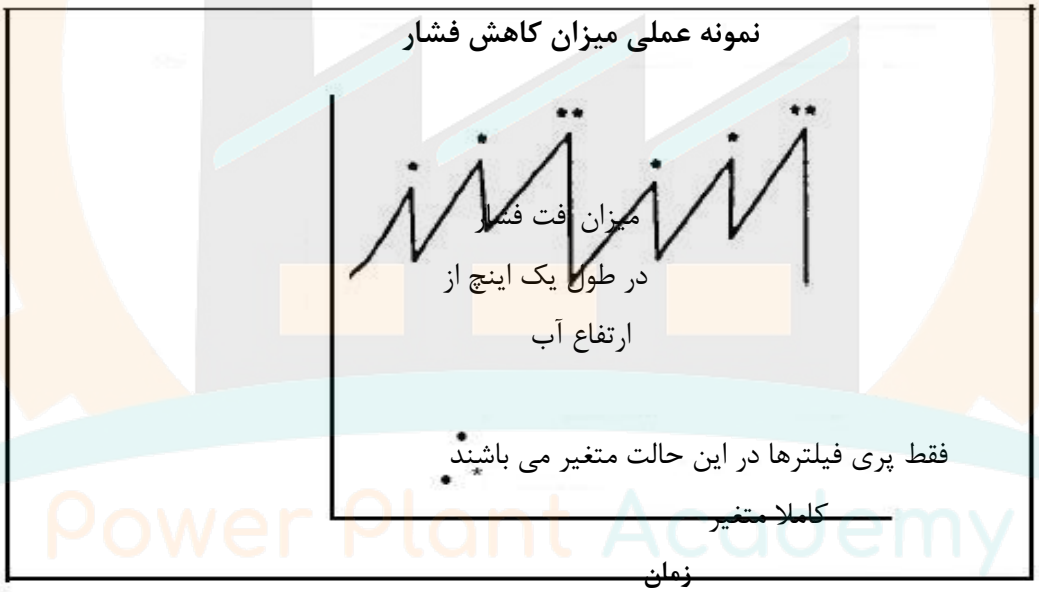
در اطرافمان در جایی که تمرکز آلودگی‌های قابل انتقال بوسیلهٔ جریان هوا زیاد باشد یا در صورت وجود سایر شرایطی که تصفیهٔ ضربانها یا پالس‌های درونی فیلترها غیر ممکن باشد نوع استوانه‌ای فشنگی خود پاک‌کن و با کارایی بالا ممکن است که هنوز مورد استفاده قرار گیرد.

چنین سیستمی می‌تواند از نظر ساختمانی با قسمت خودپاک‌کن یکسان باشد به استثناء ضربه‌ها یا پالس‌های سخت‌افزاری که آنها را حذف می‌کنیم. چنین سیستمی به عنوان یک مانع استاتیکی و ایستا (ساکن) عمل می‌کند در حالیکه دارای بسیاری از امتیازات یک سیستم خودپاک‌کن می‌باشد. چنین امتیازاتی شامل ظرفیت بالای نگهداری گردوغبار، نشان مثبت (+) مکانیزم، میزان چسبندگی پایین و میزان فشار کم می‌باشند. ظرفیت نگهداری گردوخاک یک استوانهٔ منفرد از نوع فیلتر خودپاک‌کن فشنگی در حدود 2500 گرم برای

گردوخاک ریز منطقهٔ آریزونا می‌باشد. ظرفیت نگهدای گردوغبار بـرای قطعـه‌ای از فیلترهـای بـا کارایی بالا در حدود 400 تا 700 گرم گردوغبار است.

پری فیلترها:

اگر میزان گرد و غبار محیط نسبتاً زیاد باشد مثلاً در بعضـی منـاطق صـنعتی، ممکـن است که حفاظت بیشتر از فیلترهای با کارایی بالا توسط وسایل ساده و ارزان و پری فیلترهایی از نوع Media اقتصادی و مقرون به صرفه باشد. پایهٔ قاب برای محافظت از پری فیلترهایی اسـت که نوعاً بطور مستقیم در جلوی فیلترهای با کارایی بالا قرار گرفته‌اند.



شکل 13

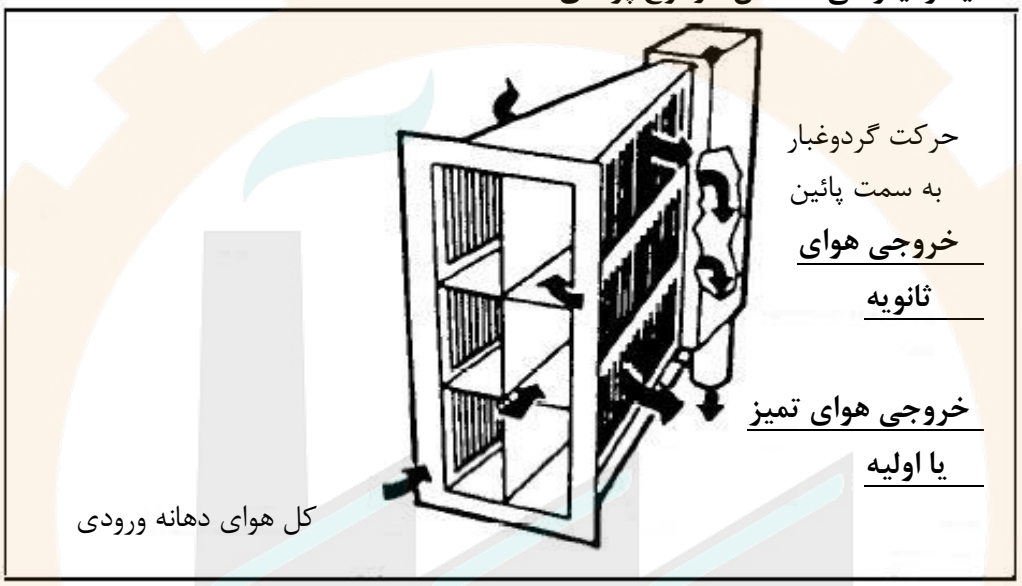
شکل 13 نشان می‌دهد که چگونه کاهش فشار تمام سیستم فیلتر را بطور مشخص با زمان تغییر می‌دهد. سه پری فیلتر تغییرپذیر برای تعویض هریک از فیلترهای با کارایی بالا نشان داده شده‌اند که یک آزمایش متداول است. بطور نمونه سیستم فیلتری دو طبقه (پری فیلتر و فیلتر با کارایی بالا) می‌تواند چندصد پوند از گردوغبار هوای درونی توربین گازی را قبل از اینکه فیلترهای با کارایی بالا جایگزین گردند جابجا کند. پیشگویی نتایج خاص که بر اساس متوسط عمر فیلتر می‌باشد امکان پذیر نیست. زیرا هر محلی منفرد و جدا می‌باشد و نتایج خاص خود را دارد .

اگر 5000 تا 7000 ساعت کار بطور نمونه برای یک سیستم دو طبقه در ایالت آمریکا وجود دارد. بدون حضور پری فیلترها عمر توسط دو یا چند عامل کاهش می‌یابد.

جداسازهای اینرسی:

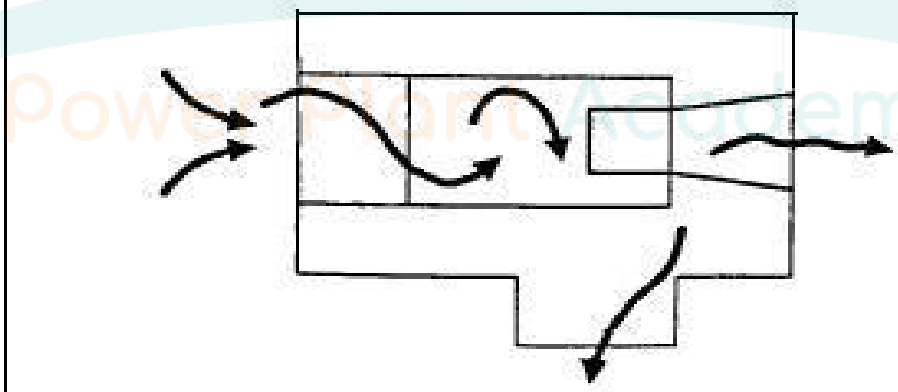
هوایی که شامل گردوغبار، کثیفی و آلودگی‌های مکانیکی می‌باشد وارد محل ورودی انتهای پاکت V شکل می‌گردد. ته پاکت جامد با جفت لبه‌هایی است که دارای شکاف‌های بادگیر می‌باشد. کثیفی‌ها از هوا تفکیک شده و به مانند هوا از شکاف‌های باز در گوشه‌ها عبور می‌کند و ذرات کثیفی بزرگتر در یک امتداد راستی برای بدست آوردن کمک توسط پره‌های bleed در یک مجرای سرازیری به مسیر خود ادامه می‌دهند. میزان نقش پره‌های bleed تقریباً 10٪ جریان هوای اولیه می‌باشد. این سیسم بایستی زمانی در حال عملکرد باشد که توربین در حال جمع‌آوری و تهیهٔ ذرات می‌باشد. نوع دیگری از جداسازهای اینرسی مدل چرخشی می‌باشد که در شکل شمارهٔ 15 نشان داده شده است.

فیلتر اینرسی (ساکن) از نوع پره ای



شکل 14

فیلتر اینرسی (ساکن) از نوع فرفرهای (چرخشی)



هوای ورودی یا هوای مخلوط شده با گردوغبار توسط تیغه‌های درونی ساکن گریزنده از مرکز، یک چرخش داده می‌شود. بنابراین در جایی که آنها توسط یک سیستم bleed fan تمیز شده‌اند به منظور رسیدن به سطح خروجی کانال ایجاد ذرات بزرگتری مینماید. هوای پاک به سمت مرکز لوله کشیده می‌شود و سپس وارد توربین گازی می‌گردد.

لوله‌های چرخشی به نوعی به ناحیهٔ پیشانی بیشتر از جداسازهای نوع پره‌ای نیازمند می‌باشند. که ممکن است گاهی اوقات باعث ایجاد مانع در استفاده‌شان گردد. در حالی که شکل نوع پره‌ای و نوع چرخش جداسازهای اینرسی متفاوت است.

از نظر عملکردی آنها خیلی مشابهند. میزان کارایی جداساز هنگامی افزایش می یابد که جریان عبوری از درون جداساز بطور ناگهانی در ابتدا زیاد شود که آن سپس به یک قسمت عریض می‌رسد جایی که جریان بیشتر اثر کمی روی کارایی دارد. زمانی که جریان افزایش می‌یابد و منجر به کاهش شدید فشار می‌شود انجام کار توربین گازی را ضعیف می‌کند. مهندسین طراح زمانی که تصمیم به طراحی نقطهٔ مناسب می‌گیرند بایستی هزینهٔ جداسازها و در مقابل اجرای انجام کار توربین گازی را متعادل کنند.

انتخاب معمول نقطه‌ای است که کارایی تجمعی بالا با کاهش فشار قابل قبول ترکیب می‌شوند که بطور نمونه 1 تا 1/5 اینچ در آب می‌باشد. قسمت تحتانی منحنی در شکل شمارهٔ 7 بیانگر بازده جداساز نمونه به عنوان تابعی از اندازه و سایز ذره موجود می‌باشد. زمانی انجام کار یک جداساز اینرسی عالی و مورد قبول است که ذرات بزرگتر از $10\mu m$ (میکرومتر) باشند. این موضوع همانطور که پیشتر توضیح داده شد می‌تواند باعث ایجاد یک نیروی مقاوم علیه فرسایش و خوردگی کمپرسور گردد.

همچنین اگر ذرات خورنده حدوداً بزرگتر از $10\mu m$ باشند می‌توانند در مقابل خوردگی (فیلتر اینرسی) مقاوم باشند. عموماً جداسازها و فیلترهای اینرسی که دارای خاصیت خودپاک‌کن توسط طراح می‌باشند در اولین طبقه از مراحل فیلتریزاسیون قرار می‌گیرند و باعث افزایش راندمان و کارایی فیلترها می‌شوند. در این حالت بیرون راندن بخش از گردوغبار می‌تواند باعث افزایش طول عمر فیلترهای با کارایی بالا شود که در غیر اینصورت می تواند باعث بهم خوردن سیستم فیلتری می‌گردد و باعث پرشدن آن از ذرات گردوغبار شود.

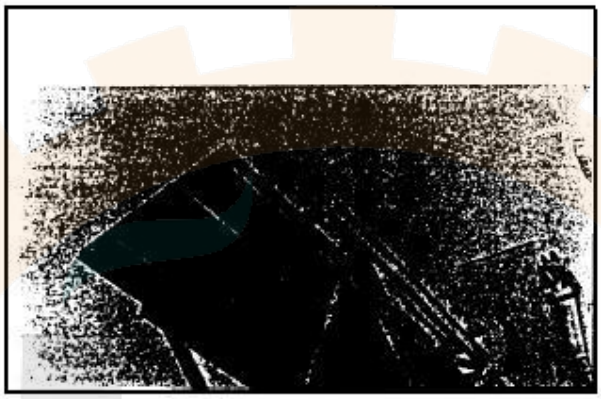
حفاظت هوایی:

در آب و هوای سرد مکش مقادی زیادی از برف و باران سرد می‌تواند باعث ایجاد یخزدگی در بخش‌های درونی فیلتر گردد که این موضوع می‌تواند در انجام کار تجهیزات و عناصر فیلتری مشکل ایجاد نماید و ممکن است منجر به خسارت فیزیکی به مجاری و لوله‌های درونی یا کمپرسور توربین گازی شود. در آب و هوای گرمتر بارش‌های متوالی و ادامه‌دار ممکن است باعث اشباع و پرشدن جداسازها و فیلترهای اینرسی گردد و باعث رانده شدن آب به بخش‌های پایینی گردد. اگر فیلترهای با کارایی بالا وجود نداشته باشد زیاد مساله ساز و مضر نمیباشد. و اگر فیلترهای با کارایی بالا داشته باشیم ادامه یافتن رطوبت و خیسی می‌تواند کاهش فشار را افزایش داده و باعث ایجاد ضعف و اختلال در ساختار فیلتر نوع Media شود.

به این دلایل عملیات ویژه و مشخص ممکن است برای حفاظت هوایی بادگیرهای هوایی مورد نیاز شود. وقتی که حفاظت هوایی نیاز داریم بوسیلهٔ اسباب آلاتی همچون کلاهک دودکش درونی یا بادگیر هوایی همانطوری که در شکل شمارهٔ 16 مشاهده می‌شود این امر فراهم می‌گردد.

قسمت کلاهک دودکش

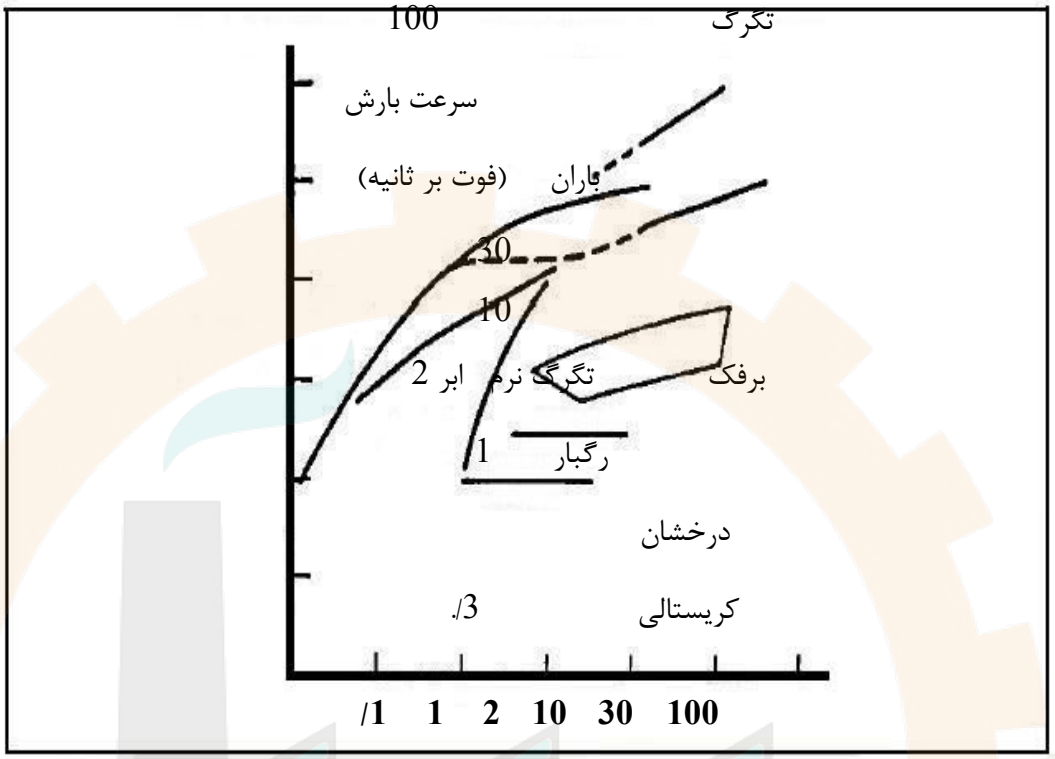
هوایی دهانه ورودی



شکل 16

بادگیرها ممکن است تحت شرایط زمستان و سرما در معرض یخزدن قرار گیرند. اما کلاهک دودکش چنین مشکلی را ندارد و پایداری‌اش را در هوای گرم و سرد اثبات نموده است. بادگیرهای هوایی در زمینهٔ شتاب کشیده شدن هوای درونی به سمت بالا در سرعت کم ضعیف عمل مینمایند در نتیجه در سرعت نهایی برف و بارانی که به سمت پایین دودکش کشیده می‌شوند تفاوتی ایجاد میگردد. سرعت‌های نهایی بارش‌های با شکل‌های مختلف بسیار متغیر است. (شکل شماره 17)

سرعت نهائی بارش با شکل های مختلف



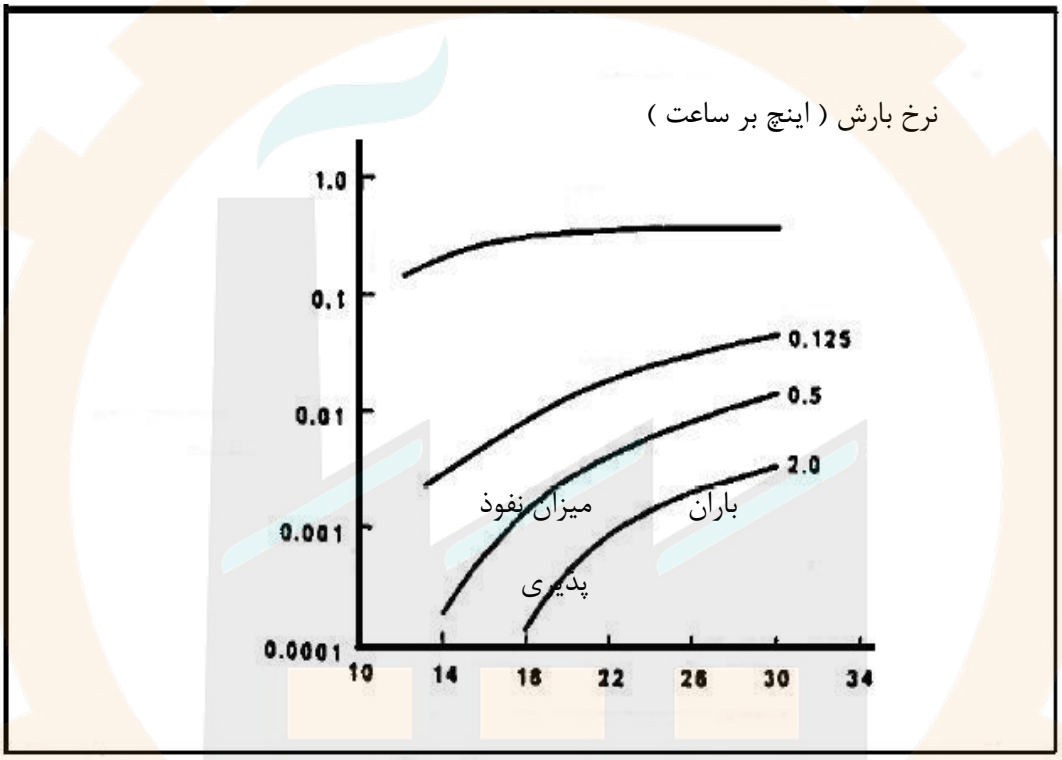
شکل 17 .

و این بسیار واضح و آشکار است که یک طرح داده شده برای یک کلاهک دودکش مـی‌توانـد در بارش‌های سریع در مقایسه با بارش‌های برف ریزه و با سرعت کم مردود گردد و غیر کارامد باشد .

برای محدود کردن چنین حالتی مطالعه روی مدل‌سازی آنها توسط کامپیوتر آغاز شد و نه تنها از طریق علم هندسه بلکه از طریق رشته‌های وابسته در زمینهٔ کلاهک دودکش، بـه یـک مقدار و معیاری رسیدند. اما همچنین عواملی چون توزیع اندازهٔ قطره در تعداد زیادی از باران‌های

شدید وجود دارد که در شکل شمارهٔ 18 کارایی یک کلاهک منفرد که تابعی از سرعت ظاهری و میزان شدت باران می‌باشد مردود اعلام گردیده است

میزان نفوذ پذیری کلاهک دودکش هوا



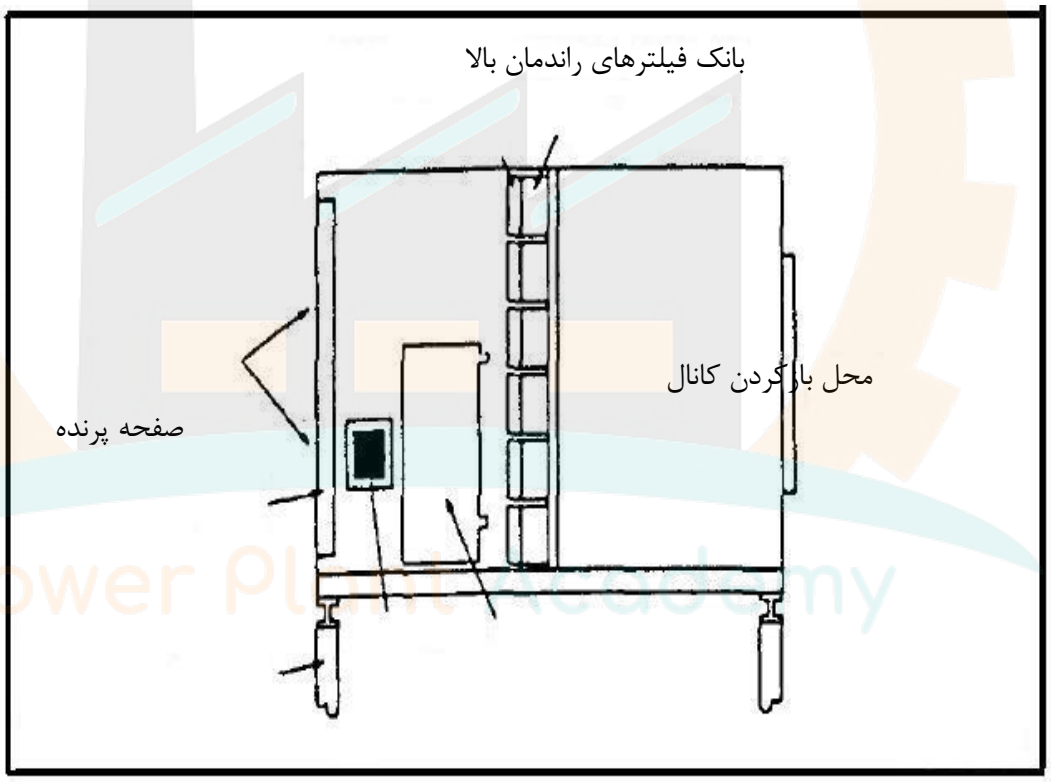
شکل 18

منحنی فوق برای یک نمونه و روز برفی ایجاد گردیده و مورد قبول است. از این نتایج مشخص است که مقادیر زیادی از باران، از طریق کلاهک دودکش با سایز متوسط در دسترس قرار میگیرد و کلاهک های بزرگ در بارش برف مناسب میباشند.

تجهیزات و بخش‌های یک فیلتر درونی:

تجهیزات و قسمتهای فیلتر درونی معمولاً توسط طرحهای شرکت جنرال الکتریک افراشته و نصب می‌گردند. اگر فقط جداسازهای اینرسی مورد استفاده قرار گیرند این باعث بهبود کیفیت هوای ورودی به توربین گازی می‌گردد و اگر تجهیزات نصب شده از فیلترهای با کارایی بالا استفاده کند موجب افزایش طول عمر فیلتر می‌گردد. یک دسته‌بندی نمونه‌ای از تجهیزات یک فیلتر درونی در شکل 19 نشان داده شده است.

فیلتر دهانه ورودی چند طبقه



شکل 19

هوای اولیهٔ ورودی به bird screen برخورد می‌نماید و پس از آن به بادگیرهای هوایی برخورد می‌کنند. درب دسترسی درست پایین بادگیرهای هوایی قرار دارد و هوای ورودی از طریق یک نردبان قفسی و سکوی سرویس عبور می‌کند. تجهیزات شامل روشنایی درونی و تسهیلات قسمت خروجی می‌باشد و نیز شامل یک جعبهٔ اتصال {junction box} برای تامین نیروی الکتریکی می‌باشند. یک زنگ هشدار برای تشخیص کامل فشار در فیلتر درونی بسیار ضروری بوده و فراهم شده است. اگر عملیات اصلاحی صورت نگیرد و کاهش فشار بیش از اندازه افزایش یابد سوئیچ‌ها و کلیدهای فشاری بطور اتوماتیک وارد عمل شده و فرمان خاموشی را به توربین گازی می‌دهند که هشدار مورد نظر که برای توقف و سرویس فیلترهای خراب و کهنه میباشد بصورت یک سیگنال است.

تجهیزات درونی نوعاً از ورقهای فولادی 3/16 اینچ ساخته می‌شوند تا یک ساختار جامد و قابل تحمل و استوار را برای بارگیری‌های محیطی فراهم نماید. راهنمایی‌هایی برای این نوع بارگیری‌ها یکنواخت و متحدالشکل می‌شوند با کد ساختاری یا ANSI Code = A 58/1. میزان نیروی باد $4.1\ b/ft^2$ می‌باشد و ناحیهٔ 4 بارها را مرتعش می‌نماید و بار برفی $4.1\ b/ft^2$ (که توسط این قدرت تعریف می‌شوند) به عنوان ضوابط و معیارهای طرح مورد استفاده قرار می‌گیرند. سطوح مجاز فشار از ساختار معمولی فولاACSI بدست می‌آیند.

استاندارد نهایی عنصر روی معدنی اولیه با یک روکش اپوکسی ایجاد شده در داخل و خارج‌اش می‌باشد. که اپوکسی به عنوان روکش نهایی برای قسمت داخلی زمانی که سطح بیرونی نیازمند یک روکش نهایی بعد از نصب می‌باشد عمل می‌نماید. بخاطر اندازه‌شان تجهیزات درونی معمولاً در چندین زیر مجموعه فرستاده می‌شوند. اینها نقاط و درزهایی هستند که بصورت یک رشته بهم متصل می‌گردند تا به منظور تکمیل ساختار شکل و فرم بیابند. تجهیزات درونی

معمولاً برای دروی از آلودگی‌هایی که در سطح زمین قرار دارند در قسمت‌های بالایی و مرتفع فیلتر نصب می‌شوند.

Power Plant Academy

جدول 2: طبقه‌بندی کیفیت هوای محاصره شده

توصیفات	زمین مورد استفاده	مکان	کیفیت هوا
زمین گسترش نیافته، باران ملایم، عدم وجود فصول پی‌درپی خشک، پوشش زمینی پیوسته و ترافیکزود گذرو سبک	تفریحی	روستایی	تمیز
اقامت‌های اکثراً واحد یا متعدد، راههای هموار، ترافیک زودگذر، فعالیت‌های تولیدکنندهٔ گردوخاک همچون شخم زدن و درو کردن	مسکونی کشاورزی	برون‌شهری/ شهری روستایی	گردو غباری
ذخیره‌کردن، انبار کردن، بارکشی کردن، استخراج معدن ساخت و تولید	اقتصادی یا صنعتی	شهری	
کمتر از 10 مایل آب شور	هر نوعی	ساحل دریا	آلوده شده
تشکیل دهندهٔ کف دریا در مکانی با باران کم	هر نوعی	دریاچهٔ خشک	
عناصر خورنده در گردوغبار همچون مواد شیمیایی، سیمان و بویلرهای زغال همچنین شامل مکان‌هایی که در معرض دود و غبار هستند.	صنعتی	شهری	
گردو غبار ناشی از کود شیمیایی	کشاورزی	روستایی	
بارن کم یا بدون باران، دوره‌های مستمر خشک، بادهایی که گاهی اوقات باعث تولید طوفانهای شن و خاک با میدان دید کم می‌شود.	هر نوعی	زمین بایر	بیابان

معرفی فیلتراسیون درونی هوا:

طرحی از یک سیستم که قابلیت حفاظت از توربین گازی را دارد نیازمند آگاهی از کیفیت هوای محاصره شده و معیارهای استقرار برای کیفیت هوای درونی می‌باشد. وجود نسبتی

بین آنها بیانگر داشتن کارایی فیلتر می‌باشد. تفاوتی بین هزینهٔ اول و هزینهٔ تعمیر و نگهداری در اجرای کار توربین گازی می‌تواند ایجاد شود. راهنمایی بالا می‌تواند توجه ما را به مقدار آن جلب نماید و نظریهٔ توربین گازی در کاربردهای غیر دریایی با حجم بالای گردوغبار را مطرح می‌نماید. جدول شمارهٔ 2 می‌تواند برای طبقه‌بندی کیفیت هوای محاصره شده در یک محل بخصوصی که توربین گازی در آن قرار دارد همچون محیط‌های تمیز، گردوخاکی، آلوده و یا بیابان مورد استفاده قرار گیرد.

هنگامیکه تامل و قضاوت می‌کنیم به این نتیجه می‌رسیم که بایستی آیندهٔ احتمالی مکان یا سرزمینی که مورد استفاده قرار خواهد گرفت همچون وضعیت کنونی آن برای ما بخوبی مشخص شده باشد. توربین گازی خودش فشار و اثر ناچیزی را در کیفیت هوای آن محل می‌گذارد اما در دیگر مکانهای وابسته و گسترش یافته می‌تواند تاثیرگذار باشد. هنگامیکه توربین گازی یک بخشی از فرآیندهای بزرگتر یا یک سیستم می‌باشد این موضوع بطور مشخصی صحیح می‌باشد. نظریهٔ فیلتریزاسیون درونی هوا می‌تواند به کیفیت هوا با استفاده از جدول شمارهٔ 3 وابسته باشد. فیلترهای خودپاک‌کن برای توربین گازی جنرال الکتریک با حجم گردوغبار سنگین وسایل استاندارد فیلتریزاسیون می‌باشند.

اگر فیلترهای پسیو (Passive Fliters) مورد نیاز باشند و اگر میزان گردوغبار محاصره شده بالاتر از حد میانه باشد (> 0/1 ppm by weight) پری فیلترها مورد استفاده قرار میگیرند، بر اساس مطالعات اقتصادی این امر (استفاده از پری فیلترها) به نفع کاربر و مصرف کننده می‌باشد. به علاوه در جدول 3 فیلترها توصیف شده‌اند و وسایل دیگری برای تغذیهٔ فیلترها در وضعیت‌های بخصوص مورد نیاز می‌باشند.

صفحهٔ حشره‌ای (Jnserct Screen) ممکن است در نواحی شمالی مورد نیازواقع شود، نـواحی گرمسیری و مکانهای گرمسیری در معرض هجوم حشره می‌باشند. کاربر اغلب ایـن تجهیـزات را فراهم می‌کند. حفاظت هوایی برای تمام یونیت‌ها با بـازده فیلتریزاسـیون بـالا توصـیه مـی‌شـود. حفاظت می‌تواند در غالب و فرم کلاهک‌های هوایی و یا بادگیرهـای بـارانی باشـد، یـک سیسـتم خودپاک‌کن بطور ذاتی توسط حاشیه‌هایی که به اینچ‌های پایینی ادامه می‌یابنـد و زیـر قسـمت تحتانی فیلتر فشنگی قرار دارند محافظت می‌شود. به دلایل زیادی این استاندارد توسـط شـرکت جنرال الکتریک توصیه نمی‌شود.

تجهیزات قراردادی فیلتر درونی وقتی که توربین گازی مشغول فعالیـت مـی‌باشـند وارد سیستم می‌گردند یااینکه فیلترهای با کارایی بالا تحت این شرایط مورد سرویس قرار می‌گیرنـد. اول اینکه کاهش فشار در بادگیرهای هوایی در مسیر درب ارتباطی ظاهر گردیده و باعـث بسـته نگه‌داشتن آن با یک نیرویی معادل 120 Lbs می‌گردند. اگر بخاطر شرایط وابسـته بـه چفـت و لولا و قفل نیرویی معادل 60 Lbs برای شکستن درب لازم می‌باشد. دوم اینکه کاهش فشـار در کثافت‌های فیلترهای با کارایی بالا موجب نگهداری آنها در مکـانی خـارج از ارتفاعشـان بـا یـک نیرویی حدود 50 Lbs می‌گردد که باید توسط سرویس‌کاران بر این مورد غلبه شود که ممکـن است چندین پا بالاتر از کف مشغول کار شوند. سوم اینکه آزاد کردن و جایگزینی فیلترها باید به روشی صورت گیرد که گردوغبار به داخل جریان هوا وارد نشود و این ممکـن نخواهـد بـود مگـر بااستفاده از سرویس کاران و نیروهای متخصص و آموزش دیده و همچنین نظـارت و سرپرسـتی آنان.

قسمت‌هایی از فیلتر نوع Media می‌توانند با اشکال مختلف جهت کم‌کردن این مشکلات طراحی گردند. اگر چه در بیشتر موارد قسمت‌هایی از فیلتر خودپاک‌کن یک راه‌حلی را از نظر تکنیکی و عملکردی با رضایت‌مندی بیشتر و کم‌هزینه‌تر به ما پیشنهاد می‌کند. شرکت جنرال الکتریک استفاده از فیلترهای خودپاک‌کن را برای تمامی کاربردها وقتی که شرایط محیطی نیازمند استفاده از فیلترهای با کارایی بالا می‌باشد و همچنین در جاهایی که عمر این فیلترها برای مدتهای زمانی کمتر طرح‌ریزی گردیده و نیز کاربری‌های پیوسته از این نوع فیلترها موردنیاز می‌باشد استفاده از خودپاک‌کن را توصیه می‌نماید.

در مناطقی که در معرض شن و ماسه و توفانهای پر گردوغبار می‌باشند همچون بیابانهای شمال آفریقا و خاورمیانه کاربران نگهداری فیلترهای نوع Media را بصورت صحیح بسیار مشکل می‌دانند زیرا حجم گردوغبار در بعضی زمانهای غیر قابل پیش‌بینی ممکن است افزایش یابد و موجب نابودی و ایجاد اشکال بسیار سریع در فیلتر گردد. مگر آنکه تدارکات و حجم وسیعی از کارکنان و سرویس کاران ذخیره و متغیر در مکان مورد نظر در دسترس باشند. نتایج مکرر شبیه عملکرد یک توربین گازی برای یک دورهٔ تناوب می‌باشد با در نظر گرفتن اینکه در حالت باز بودن درب انفجاری از سمت داخل رخ داده و هوای فیلتر نشده به سمت داخل مکش یافته است.

در یک زمان مشخص هنگامیکه فیلتریزاسیون شدیداً مورد نیاز است سوئیچ‌های حفاظتی فشاری به سادگی دستور یک خاموش را می‌دهند و توربین از حالت کاری خارج می‌گردد. فیلترهای خودپاک‌کن برای غلبه بر این مشکلات باید در چنین محیطی مورد استفاده قرار گیرند و عملکرد خودپاک‌کنی اجازهٔ فعالیت پیوسته در شرایطی را که شن و ماسه وجود دارد و اپراتور دقت کافی را ندارد به ما می‌دهد.

عمر فیلتر تا حدودی به گردوغباری که در فیلتر بارگیری و محصور شده بستگی دارد و آزمایشها مشخص نمودند که به عنوان نمونه عمر آن 2 سال می‌باشد. نگهداری رضایت‌بخش فیلتر می‌تواند با دیگر فهرست‌ها و جداول نگهداری و محافظت ترکیب شود تا کارایی یک فیلتر را افزایش دهیم. واقعیت این است که فیلترهای خودپاک‌کن در بیابان عمر طولانی‌تری دارند نسبت به طرحهای مشابه که رویهم رفته هزینهٔ نگهداری را کاهش می‌دهند.

یک استفاده کنندهٔ مهم و اصلی توربین گازی در عربستان صعودی اعلام نمود که هزینه و اجرت کار جایگزینی فیلترهای مشابه و نوعی سه برابر بیشتر از سیستم خودپاک‌کن می‌باشد. در مواردیکه فیلتریزاسیون هوای درونی مناسب‌تر باشد بایستی با شرکت جنرال الکتریک مشورت کنیم، سایت اطلاعاتی و آزمایشهای کاربردی برای خیلی از مکانها در سرتاسر جهان در دسترس می‌باشد. مکانی که فاقد اطلاعات می‌باشد یا دارای نقص اطلاعاتی است می‌تواند از سرویس‌های گوناگونی که در دسترس‌اش قرار دارند برای یافتن و آنالیز کردن کیفیت هوای محاصره شده و همچنین تولید یک نظریه استفاده نماید.

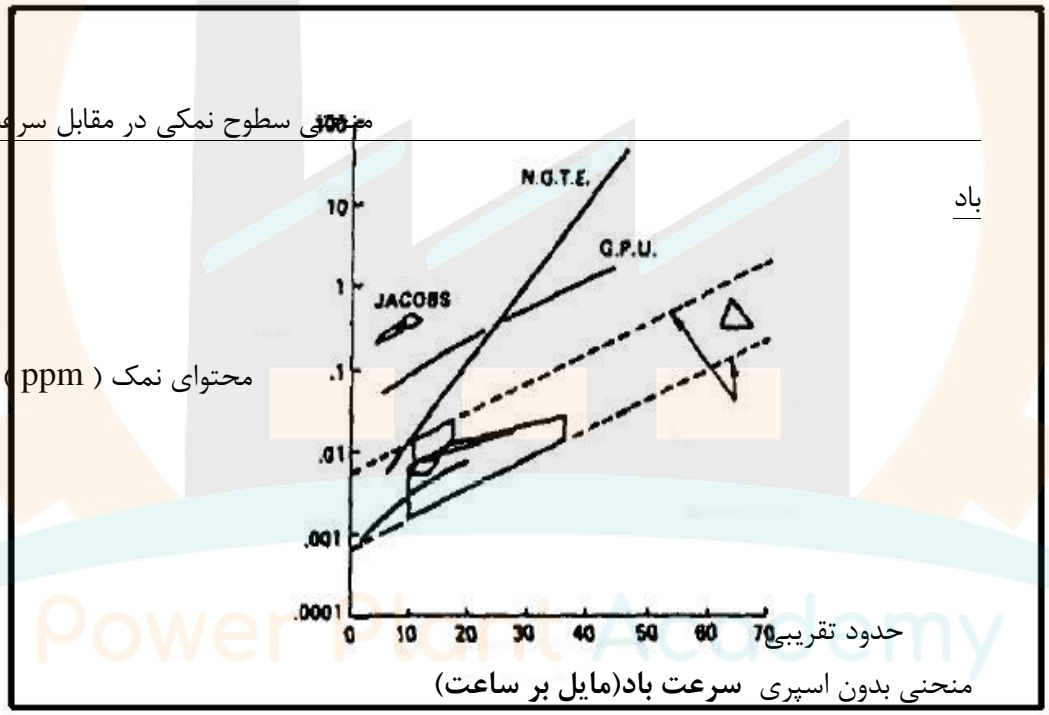
فیلتراسیون هوا در محیط‌های دریایی:

نصب سکوهای دریایی و ساحلی مشکلات ویژه‌ای را در زمینهٔ آلودگی هوای قسمت درونی فیلتر ایجاد می‌کند. و همچنین نمک حاصله از آب دریا می‌تواند در مقادیر مشخصی بوسیلهٔ باد و حرکت امواج منتقل گردد. همانطور که پیش‌تر مطرح گردید این عمل می‌تواند باعث افزایش خوردگی در فیلتر گردد. تمرکز سدیم در هر زمان و مکانی به عوامل وفاکتورهای زیادی همچون ارتفاع و بلندی محل نصب فیلتر، ارتفاع امواج و سرعت باد و درجهٔ حرارت محیط، میزان رطوبت، سابقهٔ تاریخی جرم هوای محلی بستگی دارد.

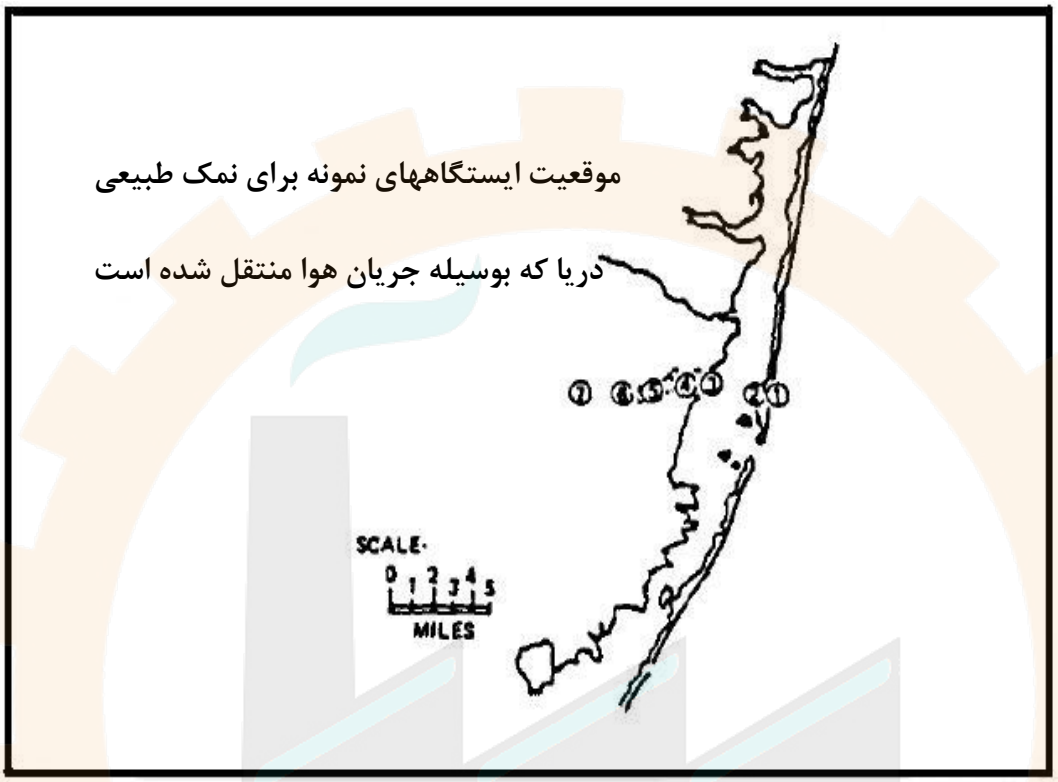
مقدار نمک موجود در هوای بالا و نزدیک دریا می‌تواند از دو منبع حاصل شود:

قطرات ریز خارج شده از حباب‌های در حال ترکیدن و ترشحات نسبتاً ریز حاصل شده از کلاهک‌های سفید و امواج در حال فروپاشی.

این دو نتیجه می‌توانند به یک درجه تفکیک شوند: آنها می‌توانند توسط مقایسهٔ مقدار نمک معلق در هوا و به جا مانده از اسپری و آنهایی که اسپری‌شده و افشانیده شده‌اند سنجیده شوند. شکل شمارهٔ 20 شامل اطلاعاتی از تحقیقات متنوعی می‌باشد که تمرکز نمک را به عنوان تابعی از سرعت باد معرفی می‌کند.



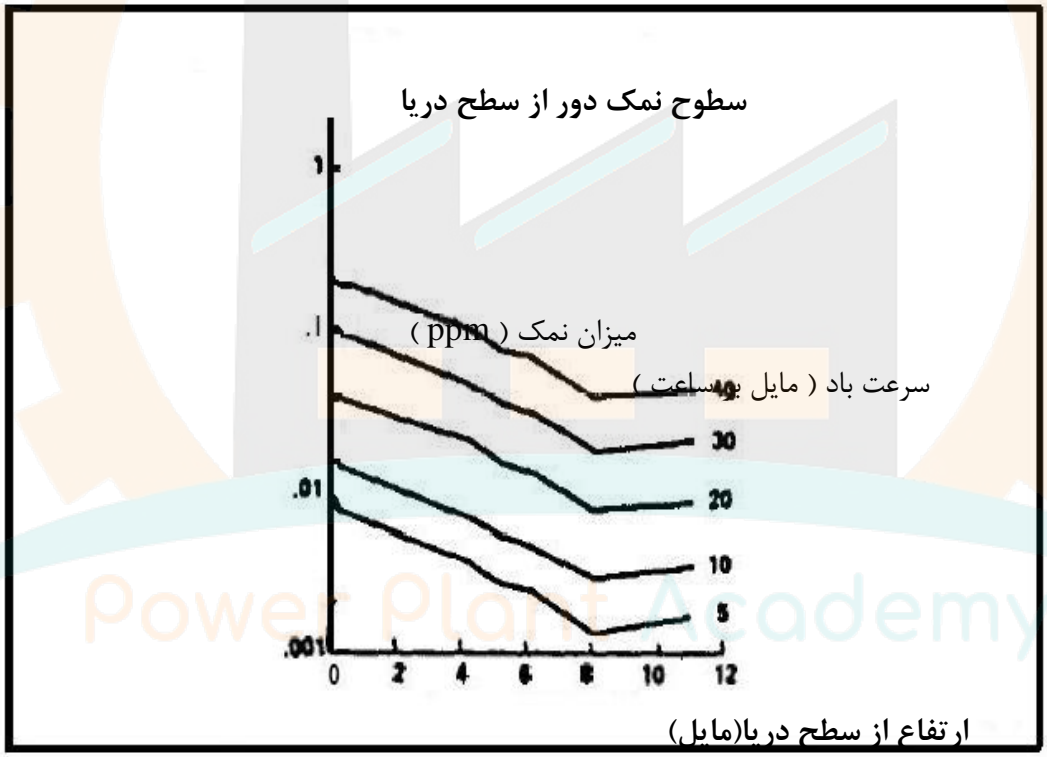
منحنی بدون اسپری **سرعت باد(مایل بر ساعت)**



شکل 21

اطلاعات موجود در خط‌چین‌ها مربوط به زمان انجام آزمایش می‌باشد که تلاش‌هایی برای حذف‌کردن اثرات اسپری شدن انجام شده است. برخی از افزایشات نامعلوم در نمودار شمارهٔ 20 ناشی از این واقعیت است که ذرات نمک می‌توانند توسط باد به مسافت‌های طولانی فرستاده شوند و سرعت باد محلی ممکن است مشابه سرعت در محل مربوطه و جایی که ذرات تولید شده‌اند نباشد.

اگر مدخل ورودی توربین گازی در معرض ذرات نمک اسپری شده ناشی از سطح یا کلاهک‌های سفید یا موج قوسی یک کشتی قرار گیرد وضعیت می‌تواند خیلی دشوار گردد. اندازه‌گیریهایی که توسط تشکیلات توربین گازی (NGTE) ، Jacobs و شرکت تعمیراتی GPU انجام شده‌اند کمتر این مطلب را تایید و اثبات می‌نمایند که نمک مکش یافتهٔ ناشی از اسپری می‌تواند تجمعش بطور گسترده‌ای تغییر نماید که این مساله بستگی به سرعت باد و جهت باد، میزان خوردگی، فاصله از سطح و میزان خود تولیدی (self Generation) دارد.



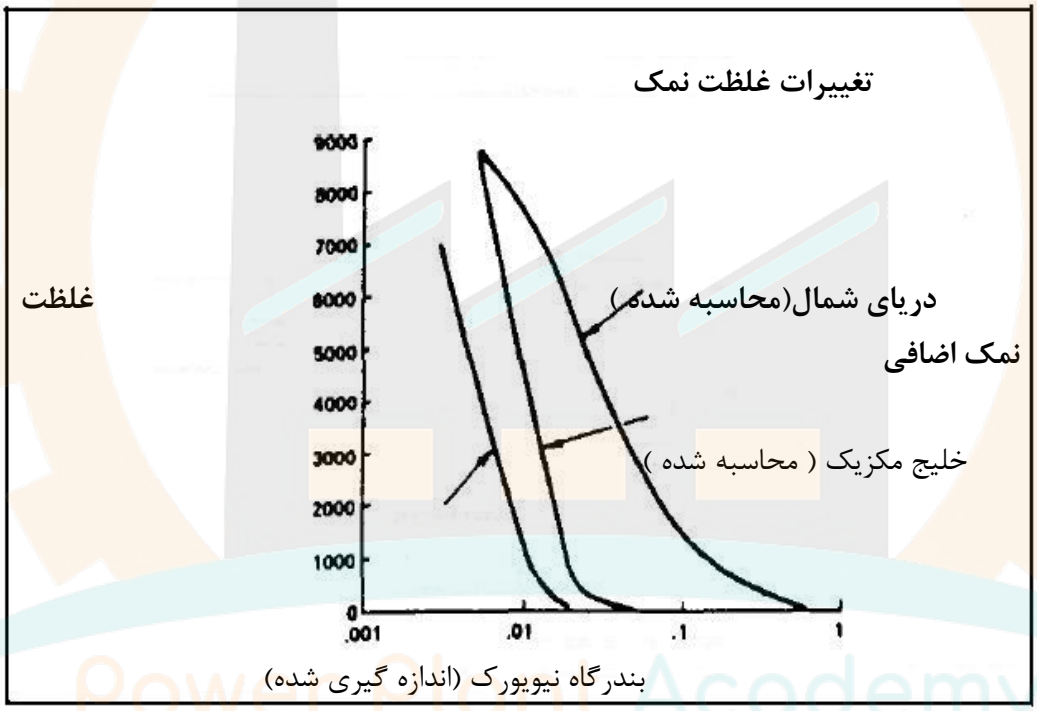
شکل 22

تصویر 22 نشان دهنده اطلاعات کسب شده در مدت زمان وزش بادهای ساحلی می‌باشد که به منظور تاکید بر میزان سطح نمک باقیمانده طراحی شده است. واضح است که این کاهش حجم در خط ساحلی تا مرز ساحلی Leeward آزمایش شده است. می‌توان فرض کرد که این بدلیل کاهش اسپری تولید شده بوسیله امواج صورت گرفته است. اگر اطلاعات حاصل از مرز ساحلی Leeside با سطح نمک نشان داده شده در تصویر 20 مقایسه شود متوجه می‌شویم که این کاهش حجم بسیار نزدیک به منطقه پراکنده (خط پراکنده)میباشد و نشانگر حد بالای اطلاعات غیر اسپری می‌باشد و این فرضیه را اثبات می‌کند که این اطلاعات ضرورتاً فارغ از تاثیرات اسپری می‌باشد.

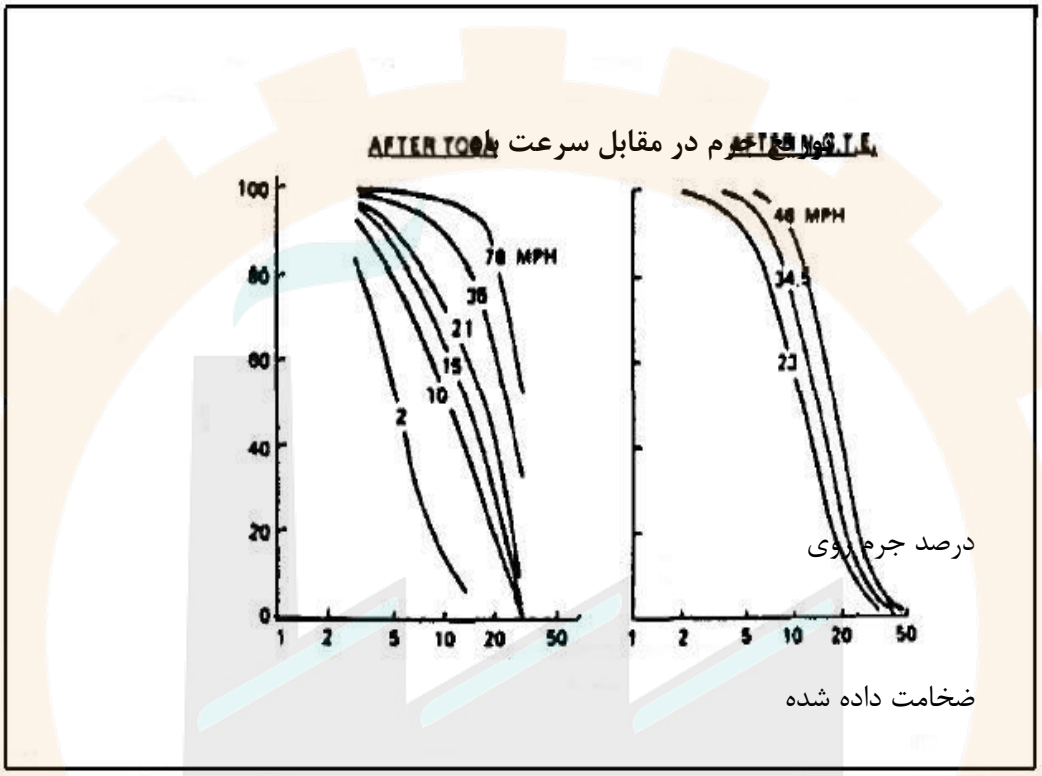
ایستگاه اندازه‌گیری بعدی که دارای حدود 4/25 مایل فاصله از سطح و در سمت خلیج می‌باشد دارای کاهش سطح نمک خوبی در خطوط محدودشده تصویر 20 میباشد. سطوح نمک با افزایش سطح تا 8 مایل کاهش می‌یابد. اطلاعات موجود در مایل یازدهم نشان دهنده افزایش اندکی به دلایل نامعلوم می‌باشد. احتمال می‌رود که اطلاعات موجود در مایلهای هشتم تا یازدهم نشان دهنده سطح زمینه طبیعی است که ناشی از منابع غیر معدنی می‌باشد. فرض بر این است سطح میانگین سدیم در هوای محیط که بوسیله جنرال الکتریک در توربین گاز داخلی 41 اندازه‌گیری می‌شود برابر با 0/0026 ppm است که معادل با 0/008 ppm نمک دریا می‌باشد.

اگر تفاوت آماری سرعت باد در یک ناحیه را بدانیم، از تصویر 20 برای تخمین محتوای نمک هوای محیط می‌توان استفاده کرد.پیشبینی شده که سطح فرضی نمک در دریای شمال و خلیج مکزیک احتمالاً در ساعاتی از سال افزایش می‌یابد (تصویر23). سطح بالای غلظت نمک

(بدون تاثیر اسپری) در این محاسبه مورد استفاده قرار مـی‌گیـرد. شـکل 23 شـامل اطلاعـات و گزارشاتی بر اساس اندازه‌گیری سطوح سدیم در ارتفاع 30 فوت که در ماههـای زمسـتان نـاروز (Narrows) در منطقه ورودی بندر نیویورک صورت گرفته است میباشد.سطوح نمـک بـا ایـن فرض کاهش می‌یابد که ناخالصی‌ها 32 درصد سدیم را تشکیل می‌دهند و ایـن مقـدار در نمـک دریا عادی است. سطوح نمک اندازه‌گیری شده حدوداً نصف مقدار پیش‌بینـی شـده بـرای خلـیج مکزیک است که مشابه توزیع سرعت باد می‌باشد. اینکه بادها در این بندر محافظت شده از سطح زمین به طرف آب می‌وزد با بررسی یک دلیل منطقی است.



شکل 23



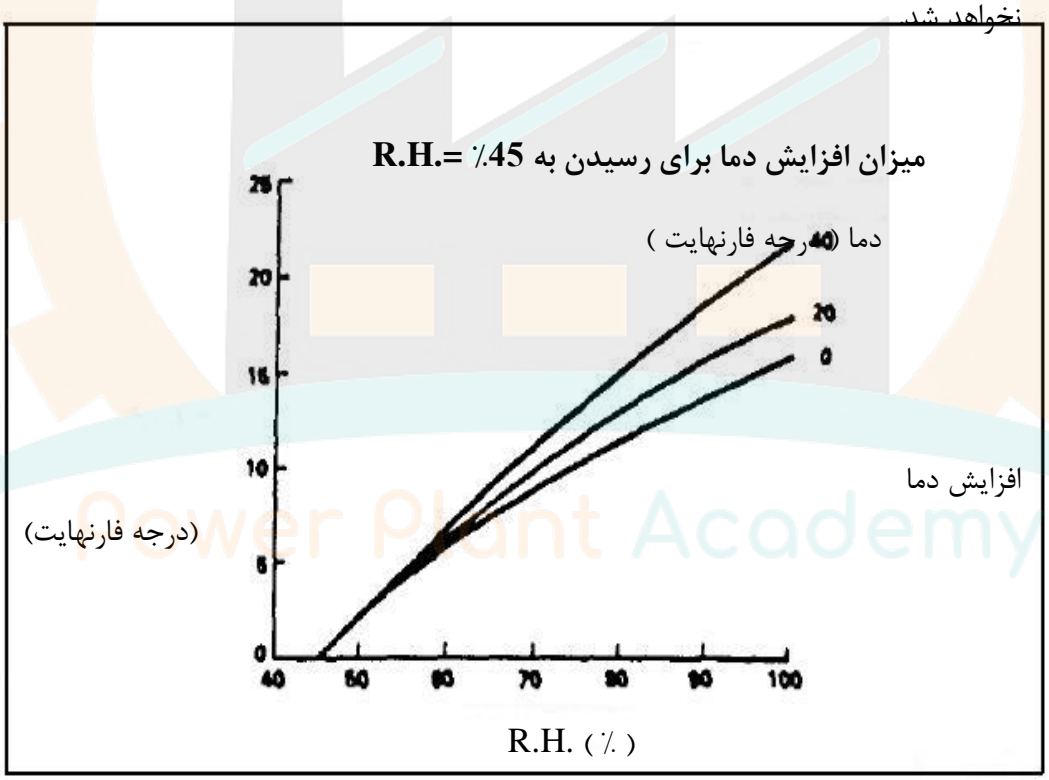
اندازه توزیع ذرات معلق معدنی بعنوان تابعی از سرعت باد را می‌توان بوسیله تصویر 24 تخمین زد که بر اساس اطلاعات چاپ شده بوسیله توبا (Toba) و موسسه توربین گاز ملی می‌باشد. جزئیات در این دو مرجع متفاوتند اما تمایلی به یکسان بودن در انها وجود دارد.بخشی از تفاوتها بدلیل سختی اندازه گیری میباشد و همچنین بخشی نیز بدلیل تفاوت در نوع مطالعه صورت میگیرد. توبا نظریه و آزمایشات را برای تعیین محیط اقیانوسی باز، ترکیب کرد در حالیکه

اطلاعات NGTE بر اساس مطالعات دریایی می‌باشد. در هر مورد وقتی که سرعت بـاد افـزایش می‌یابد اندازه توزیع قطره کوچک در مقیاس بزرگتر نامتعادل می‌شود. بنابراین عموماً سرعت باد، تمرکز و اندازه توزیع ذرات را مشخص می‌کند.

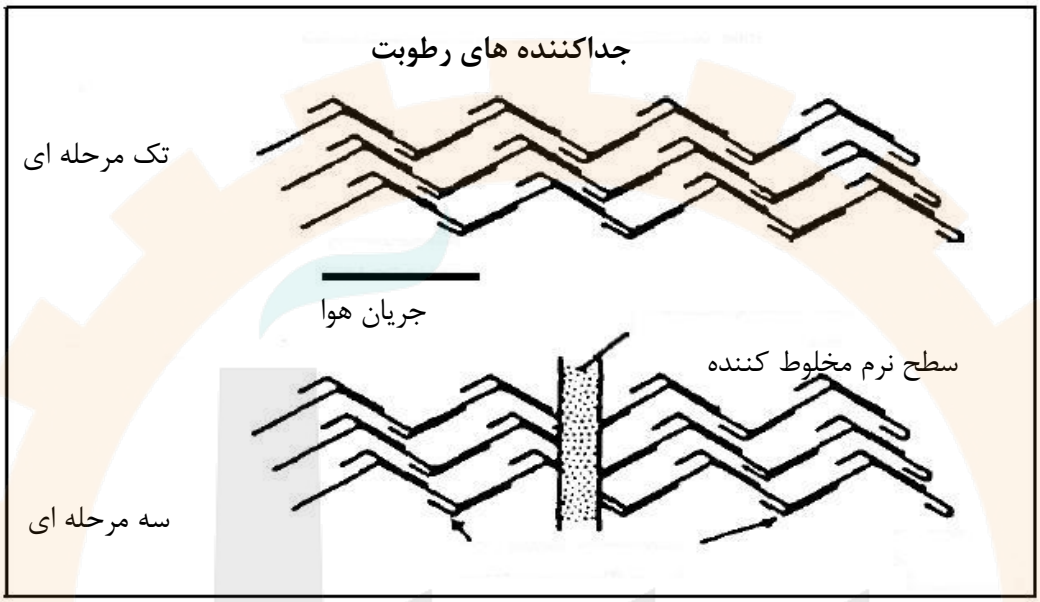
اینکه ذرات نمک بصورت کریستال خشک و یا به صورت قطره‌های کوچک اشـباع شـده خارج می‌شود بستگی به رطوبت نسبی اولیه دارد. اگر ذرات نمک بصورت قطره‌های کوچک خارج و در سطح رطوبت بالا و تا مرز بین آب و هوا نمایان شوند تا زمانیکه رطوبت نسبی اولیه تا میزان 45٪ یا کمتر کاهش یابد به صورت قطرات کوچک فوق اشباع باقی می‌مانند. این موضوع احتمالاً به دلیل وجود منیزیم قابل حل بالا و کلرید کلسیم می‌باشد.

بر عکس هنگامیکه نمک به شکل کریستال است تا زمانیکه رطوبتش تـا 73٪ افـزایش یابـد آب نخواهد شد.

میزان افزایش دما برای رسیدن به R.H.= 45٪



شکل 25



شکل 26

زمانیکه میزان رطوبت در هوای ساحلی به ندرت تا زیر 45٪ کاهش می‌یابد نمک تقریباً همیشه به شکل قطرات کوچک وجودخواهد داشت. تنها استثناء موجود، نصب توربین گازی می‌باشد که از سیستم‌های ضد یخ برای گرم کردن هوای داخلی استفاده می‌کنند . با این فرضیه که سیستم گرمایی داخلی رطوبت اندکی به هوا می‌افزاید. تصویر 25 نشان دهنده این است که افزایش دما نیاز به کاهش نسبی رطوبت تا میزان 45٪ به عنوان تابعی از شرایط محیطی دارد. اگر جدول گرمایی داخلی دارای افزایش دمای برابر یا بیشتر از حدی که بوسیله منحنی مشخص شده است

باشد میزان رطوبت نسبی هوای گرم شده تا سطحی که نمک بصورت کریستال خشک در می‌آید کم می‌شود.

تجهیزات دفع نمک

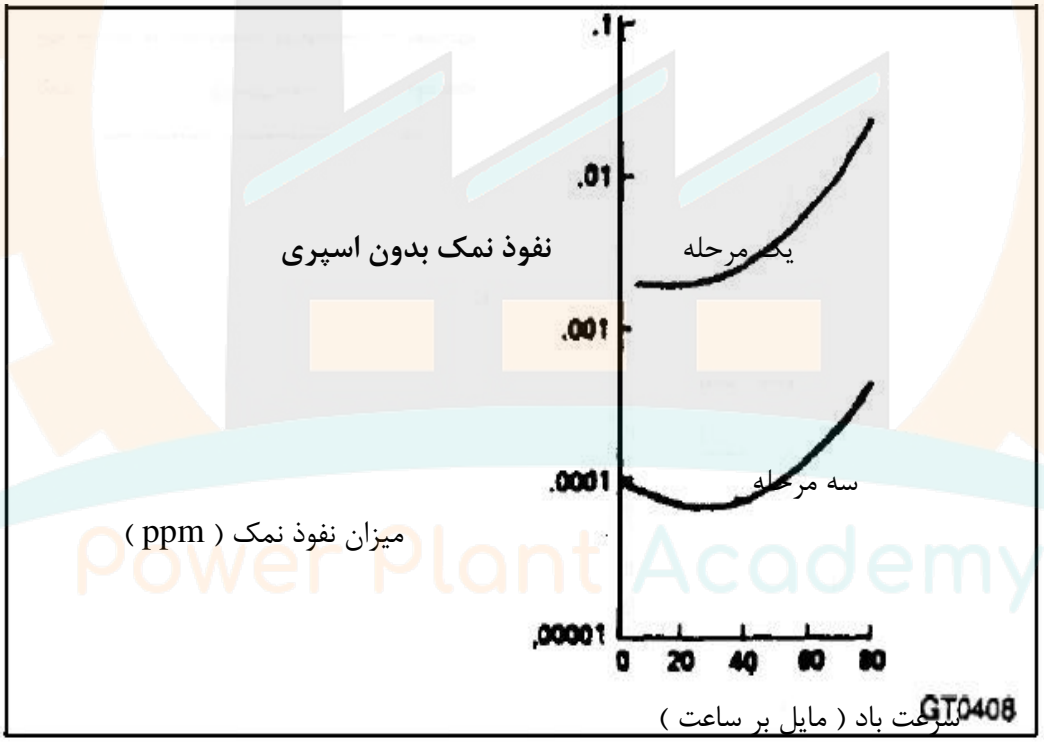
چندین تولیدکننده ابزار مناسبی را برای دفع نمک مایع از بخار هوای ورودی پیشنهاد کردند. اکثر این سیستم‌ها بر اساس یک مکانیسم فیزیکی مشابه عمل می‌کنند و فقط در طرح جزئیات و نوع مواد متفاوتند.

اکثراً بصورت سیستم‌های تک یا سه طبقه ای در دسترس هستند که استفاده از هر کدام بستگی به نوع محیط دارد (تصویر 26). عموماً سیستم‌های یک طبقه ای شامل یک سری از بادنماهای قلاب مانند عمودی هستند که بصورت موازی با جریان هوا وصل شده‌اند. این بادنماها از چندین جهات مختلف به هوای ورودی فشار وارد می‌کنند. قطرات کوچک متوالی به کناره‌های بادنماها برخورد می‌کنند که بعلت زیاد بودن جرمشان قادر نیستند که مسیر حرکت جریان های هوایی را طی نمایند. تاثیر این سیستم متناسب با سرعت جریان هوا و مقدار جنبش قطرات کوچک می‌باشد. بعد از برخورد، قطرات کوچک بر روی سطح بادنما حرکت می‌کنند تا با یک قلاب (تله) مواجه شوند.

یک سیستم سه طبقه‌ای عموماً شامل بادنمای یک مرحه ای است که در بالا توصیف شده است و بوسیله یک لایه مخلوط کننده و یک بادنمای دیگر همراه است. این لایه مخلوط کننده تقریباً یک لایه ساخته نشده که ضخامت ان تقریبا 1 اینچ می‌باشد و از پلی‌استر یا ماده مشابه آن ساخته می‌شود. نقش این لایه گرفتن قطرات کوچک و کوچکتری است که در مرحله اول جداسازی دفع نشده بودند. بعد از گرفتن، این قطرات کوچک ممکن است آب‌زدایی و یا

متراکم شوند و با دیگر قطرات کوچک برای تشکیل قطرات بزرگتر و ورود مجدد به بخار هوا ترکیب شوند. این قطرات متراکم شده بوسیله آخرین طبقه بادنماها گرفته می‌شوند که عموماً مشابه با طبقه اول می‌باشد.

تصویر 27 نشان دهنده نفوذ نمک به جداسازهای رطوبت تک طبقه ای و سه طبقه ای بعنوان تابعی از سرعت باد است. این منحنی‌های نفوذ از ترکیب بازده جداسازی رطوبت با منحنی‌های توزیع اندازه ذرات در تصویر 24 و محتوای نمک به عنوان تابعی از سرعت باد در تصویر 20 محاسبه می‌شوند. منحنی توزیع اندازه ذرات توبا (Toba) و منحنی حد بالای منطقه پراکنده از تصویر 20 برای انجام محاسبات خاص مورد استفاده قرار میگیرند.



شکل 27

آزمایش:

بیش از 75 توربین گازی پرقدرت جنرال الکتریک که مجهز به جداسازهای رطوبت با سرعت بالا، سه طبقه ای یا تک طبقه ای بر روی کف سالن‌ها، کشتی‌ها یا دوازده ناحیه ساحلی نصب شده‌اند.

چندین توربین سکو و توربین کشتی با یکدیگر ترکیب شده‌اند تا بیش از 40000 ساعت به همراه محفظه‌های اصلی و سرلوله‌های آب کار کنند، عملکرد موفق این توربین‌ها به شرایط ذیل بستگی دارد.

- تعداد این مراحل در جداسازی رطوبت عاملی از میزان جذب نمک مجاز و سرعت باد مورد نظر در آن منطقه است. از نظر آماری سرعت باد دریای شمال بیشتر از خلیج مکزیک می‌باشد در نتیجه بجای توربین‌های تک طبقه‌ای احتیاج به توربین‌های سه‌طبقه ای دارد.
- جدا کننده‌های رطوبت، بخصوص لایه مخلوط‌کننده می‌بایست از خاک مته، سیمان، مواد شن‌شوی و در بعضی از مناطق از گردوغبار محافظت شوند و (این کار باعث جلوگیری از تغییر ناگهانی مخلوط کننده‌های ناشی از حبس‌کردن این مواد است) (ممکن می‌شود از پیش فیلتر کردن در بالا دست برای دفع این ناخالصی‌ها ضروری باشد).
- نشان‌های مایع بر روی زهکشی‌های جداکننده می‌بایست محافظت شوند. بطوریکه این آب زهکشی بدرون جداسازهای پایین رودخانه کشیده نشوند.

عموماً توربین‌های واقع در مناطق ساحلی به حد کافی از خط موج (سطح موج) دور هستند تا با اسپری نمک و قطرات کوچک مواجه نشوند. در این مورد فیلترهای با بازده بالا برای دفع کریستال نمک از هوای داخلی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

سیستم‌های ضد یخی

مقدمه:

عملکرد توربین‌های گازی در آب و هوای سرد نشان دهنده مشکلات منحصر به فرد و خاصی می‌باشد. یکی از این مشکلات یخزدگی داخلی می‌باشد. یخزدگی می‌تواند باعث مسدودشدن ابزار فیلتراسیون داخلی شود و باعث می‌شود توربین گازی هوای فیلتر نشده را مکش نماید و یا خاموش شود. یخزدگی همچنین می‌تواند فشار قطره را در مسیر صفحات زائد و دیگر قسمتهای داخلی افزایش دهد و همچنین منجر به کاهش یا عدم تخریب احتمالی کانال از فشارهای انفجاری می‌شود. در موارد شدیدتر یخ می‌تواندر قسمت دهانه گشاد و درونی کمپرسور ایجاد گردد که احتمال خطر آسیب‌دیدگی اشیاء خارجی و کمپرسور موج را زیاد می‌کند.

سیستم ضدیخی به منظور جلوگیری از شکل‌گیری یخ بر روی قسمتهای داخلی و همچنین به منظور محافظت توربین‌های گازی از این تاثیرات و اجازه دادن به آن برای عمل کردن مطمئن در محیط یخی طراحی شده است.

پدیده یخ زدگی:

تسریع یخزدگی وقتی صورت می‌گیرد که در آب بعنوان یک جسم مایع یا جامد در دمای نزدیک یا زیر انجماد با برف مرطوب و باران در حال انجماد به داخل توربین مکش نماید. اگر این یخزدگی سریع درمعرض جریان هوا باقی بماند هیچ مشکلی ایجاد نمی‌کند اگر چه یخ می‌تواند منطبق با سطوح باشد . اگر دما نزدیک نقطه انجماد باشد این مطلب مشکلی ایجاد خواهد کرد.

اگر یک توده از هوا در یک رطوبت نسبی ثابت خنک شود به نقطه‌ای می‌رسیم که بخار متراکم شده و قطرات آب شکل می‌گیرد. این نقطه را نقطه شبنم (dewpoint) می‌گویند. نزول بیشتر دما منجر به خنک شدن زیاد قطرات کوچک می‌شود و این شرایط ثابت باقی نمی‌ماندو پایدار نیست بطوریکه وقتی قطرات با یک سطح داخلی برخورد می‌کنند باعث افزایش سریع شبنم یخزده می‌شوند. در توده هوای معمولی با هسته متراکم انتظار می‌رود قطرات کوچک تا درجه 22F̊- فارنهایت مایع باقی بمانند.

وقتی سوختها می‌سوزند، گرما و بخار آبازاد شده و وارد اتمسفر می‌شوند. گرما تمایل به کاهش نسبی طوبت (RH) دارد در حالیکه بخار آب تمایل به افزایش آن دارد. عموماً سوختن سوختها وقتی که دمای محیط بیشتر از 20 F̊- فارنهایت باشد تمایل به کاهش RH دارند. وقتی که دمای محیط سردتر از 30F̊- فارنهایت باشد RH براثر سوختن سوختها افزایش می‌یابد. بین این حدود محاسبه (که شامل RH اولیه است) نیاز به پیش‌بینی بعضی از تاثیرات دارد. اگر شرایط هوا مانع از ترکیب هوا شود، افزایش RH باعث افزایش پدیده قطبی‌ای که به مه یخی {ICE FOG} معروف است می‌شود. در این پدیده اتمسفر با توجه به یخ، بیش از حد اشباع می‌شود.

وقتی یخزدگی در اولین مانع رخ میدهد با هوای ورودی یک سیستم داخلی که نوعا یک صفحه اشغال یا یک فیلتر است برخورد می‌کند احتمال تشکیل یخ بر روی دهانه ورودی کمپرسور داخلی توربین گازی بدون شکل‌گیری بر روی دیگر بخش‌های بالادست امکان‌پذیر است. این پدیده که یخ واردهانه عریض ورودی کمپرسور می‌شود بوسیله تسریع کننده ایزنتروپی هوا قابل توضیح می‌باشد و این عمل منجر به خنک‌شدن می‌شود. وقتی نزول دما در سطوح جبران می‌شود مانند سوختن تبخیرهای کمکی یا بادنماهای داخلی، این سطوح همچنان چندین درجه خنک‌تر از هوای محیط می‌باشند.

نزول دمای دیوار محاسبه شده در بادنماهای داخلی LM 2500، 3/5F می‌باشد در حالیکه این اندازه برای ماشین‌های سنگین 2/4F است اگر هوا به اندازه کافی مرطوب شود این کاهش دما باعث یخزدگی در دهانه ورودی کمپرسور می‌شود. تشکیل یخ دردهانه ورودی کمپرسور می‌تواند باعث کاهش مارژین {SURGE MARGIN} موج کمپرسور شود و اگر مقدار قابل توجهی یخ شکسته و داخل موتور شود باعث آسیب‌دیدگی قسمتهای بیرونی می‌شود.

توربین‌های گازی سنگین قدرتمندتر از نوع موتورهای مبدل هواپیمایی aircraft derivative در یخزدگی دهانه ورودی کمپرسور میباشند چرا که دما کمتر، تیغه کمپرسور سنگین‌تر و مارژین موج {SURGE MARGIN} بزرگتر است.

مشخصات سیستم‌های حفاظتی:

سیستم‌های داخلی به منظور حفاظت توربین‌های گازی از آسیب‌دیدگی ناشی از یخ زدگی و حرکت ماشین با کمترین تاثیر بر روی عملکرد آن، در آب و هوای سرد طراحی شده‌اند. طراحی عادی این سیستم شامل فیلترهای خودپاک‌کن است که می‌تواند یخ را مانند گردوغبار

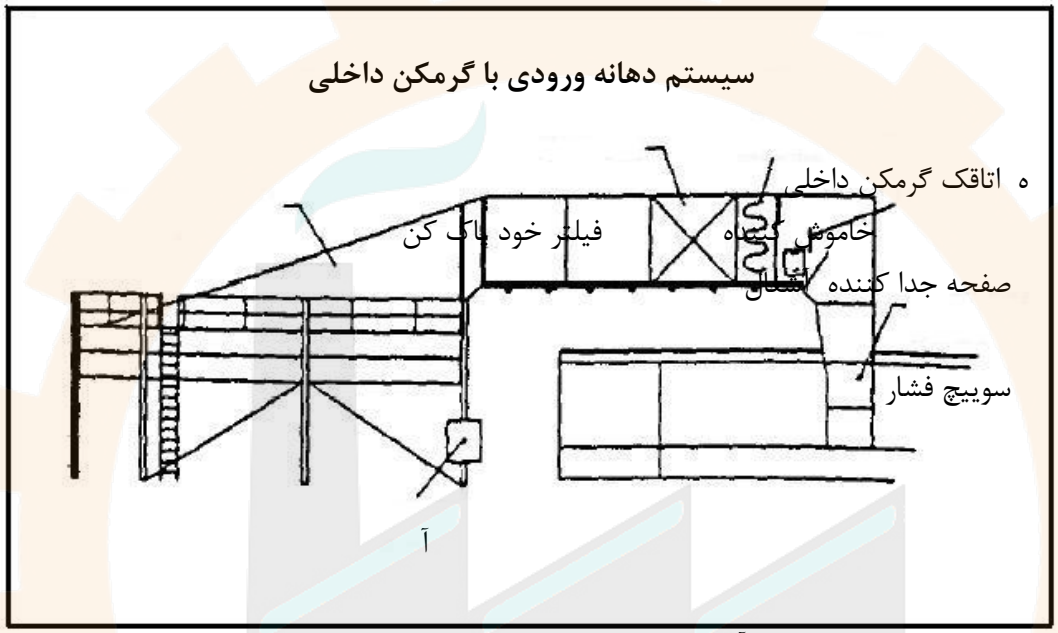
دفع کند، سیستم گرمایی داخلی به منظور جلوگیری از تشکیل یخ در قسمت پایین دست فیلترها و ابزارهای حفاظتی برای جلوگیری از بروز واقعه و یا اسیب در فعالیت سیستم یا عملکرد سیستم در حالت خارج از وضعیت عادی ان بصورت پوشش و یا ساختاری شده است. این مشخصات که نشان دهنده ارتقاء سیستم داخلی می‌باشد در تصویر 28 نشان داده شده است.

مدل ضد یخی شامل چندین سیستم گرمایی داخلی است که هوای گرم پایین‌دست فیلترهای خودپاک‌کن کانال داخلی را مطرح می‌کند. اگر یخ زدگی در فیلترهای داخلی وجود داشته باشد یک سوئیچ فشار، افزایش فشار قطره را حس کرده و سیستم خودپاک‌کن شروع به کار می‌کند.

اگر کاهش فشار قطره به طور مداوم افزایش یابد سیگنال هشدار فعال می‌شود و اگر عملی بوسیله اپراتور صورت نگیرد، خاموشی توربین گازی به وسیلهٔ سوئیچهای فشار حفاظتی ، علامت داده می‌شوند صفحه دو تیکه (کمکی) در کانال داخلی از مکش یخ و یخزدگی همچون مواد زائد محافظت می‌شود. طراحی آن بگونه‌ای است که می‌تواند هوا را بدون کاهش فشار زیاد قطره عبور دهد حتی اگر صفحه به دلیل ورود هوای سرد به درون هر یک از سوراخهای کانال یخ زده باشد.نهایتاآلارم فشار دیگری می‌تواند در فضای همگانی داخل قرار داده شود. این سوئیچ اگر لازم باشد می‌تواند برای خاموشی کنترل شده هنگامی که افت فشار کل سیستم داخلی به سطح از پیش تعیین شده برسد مورد استفاده قرار گیرد.

مکش برف و باران یخزده به درون سیستم داخلی به منظور عملکرد آسانتر سیستم ضدیخی بخصوص در دمای نزدیک انجماد باید کاهش یابد. یکی از روشها توسط اجزاء فیلتر درونی ارتقاء یافته انجام میپذیرد. مطالعات نشان می‌دهد که جریان قطرات برف در حال ریزش بوسیله یک فاکتور حدود 5 وقتی که ارتفاع از5 به 25 فوت میرسد کاهش می یابد. در ارتفاعات

بیشتر فایده بسیار اندکی وجود دارد چرا که قطرات برف در نزدیکی سطح زمین تمایل به متراکم شدن دارند. اگر فیلتراسیون مناسب م/رد استفاده قرار می گیرد، مکش برف و باران با استفاده از هود هوایی که به طور مناسب طراحی شده، کاهش می‌یابد.



شکل 28

فیلترهای خودپاک‌کن:

آزمایش نشان می‌دهد که فیلتر خودپاک‌کن نوع فشنگی می‌تواند شبنم را از همان روشی که انها گرد و غبار خودشان را پاک می کنند دفع نماید.

تست‌ها بوسیله فروشندگان فیلتر برای شبیه سازی تسریع یخزدگی از طریق اسپری کردن آب از نازلهای مه پاش تحت شرایط زمستانی انجام شده است. آزمایشات نشان داده است که یخ

می‌تواند بر روی فیلتر تشکیل شود و عموماً منافذ یخ آنقدر زیادند که کاهش در فشار فیلتر تا یک حد قابل قبولی باقی می‌ماند. وقتی که شرایط برای یخزدگی فراهم شده باشد. اشکار ساز نقطه شبنم به منظور علامت دادن سیستم خودپاک‌کن شروع به دادن پالس سیگنال می‌کند. این موارد کلی یا راهنمایی ها مشکلات بالقوه‌ای را که در اثر ایجاد افزایش یخ بر روی فیلتر وجود دارد را بوسیله دفع آن در لحظه تشکیل کاهش می‌دهد.

دیگر سوال کلیدی بی‌پاسخ این بود که آیا تشکیل یخ در دهانه ورودی کمپرسور داخلی توربین‌های گازی بدلیل کاهش دماست. بدین منظور آزمایشات گسترده‌ای در توربین گازی LM2500 در غرب کانادا در طی زمستان82-1981 انجام شد (تصویر 29) این ماشین که دارای فیلتر هوای داخلی خودپاک‌کن بدون سیستم گرمای داخلی است هم‌اکنون یک سال با عملکرد موفقیت آمیز را قبل از تست گذرانده است.

در طول انجام ازمایش که 2700 ساعت عملکرد زمستانی اضافی را پوشش میداد، اطلاعاتی در مورد رطوبت، دمای داخلی و محیطی، کاهش فشار پارامترهای عملکرد موتور را در مدت 10 دقیقه ثبت شده است. بعلاوه ضبط نوار ویدئویی در هنگام مشاهده بنادر در فضای همگانی داخلی به منظور مشاهده و شناسایی یخ در دهانه ورودی کمپرسور صورت گرفته است. در طول مدت آزمایش مدت نوسان رطوبت بالا در دمای زیر نقطه انجماد ثبت شده است. شبنم بر روی پره های بادنماهای داخلی برای کمتر از یک دقیقه قابل مشاهد است اما هیچ یخ اضافی و مشکل یخزدگی مشاهده نشده است.

دو روش که به توضیح مطلوب کمک می‌کند. اول این که ، وقتی هوای محیط با توجه به وجود یخ فوق اشباع می‌شود، جریان پایینی هوای فیلترها مشابه نقطه شبنم است که نشان می‌دهد این شبنم بر روی قسمتهای بیرونی فیلتر تشکیل می‌شود. رطوبتی که بر روی فیلتر

منجمد می‌شود ظاهراً مشکلی در دهانه ورودی کمپرسور ایجاد نمی‌کند. اگر شبنم بیشتری بر روی فیلترها تشکیل شود، آنها بوسیله عملکرد خودپاک‌کن دفع می‌شوند، دوم اینکه، دما دردهانه ورودی کمپرسور داخلی بین 2 تا 3 درجه فارنهایت گرم‌تر از هوای خارج شده از بخشهای فیلتر می‌باشد. اگر چه هیچ سیستم گرمای داخلی وجود ندارد. این گرما که تمایل به خنثی کردن کاهش دما دارد بدلیل ترکیب تابش و انتقال از بخشهای گرم موتور رخ می‌دهد.

توربین گازی متعدد نصب شده در حال حاضر از فیلترهای خودپاک‌کن بعنوان سیستم ضد یخی استفاده می‌کند. فیلترهای خودپاک‌کن به خاطر قابلیت ضدیخی‌اشان بعنوان یک سیستم فیلتراسیون داخلی استاندارد در خلیج پراندهو (prandho) آلاسکا ، معتبرند. به همین دلیل این سیستم در سراسر کانادا بعنوان یک سیستم مطلوب مورد استفاده قرار می‌گیرد.

شکل 29

سیستم‌های گرمای داخلی:

اکثر سیستم‌های گرمایی داخلی جنرال الکتریک با ترکیب گاز داغ حاصله از تعدادی منابع با هوای سرد و هوای محیط درقسمت ورودی به سیستم داخلی عمل می‌کنند. این گاز داغ همیشه هواست (یا هوا به اضافه محصولات سوخت) بنابراین، افزایش دما بوسیله معادله گرمایی ساده محاسبه می‌شود:

$$\frac{\text{محیط } T - \text{ترکیب شده } T \cdot}{\text{محیط } T - \text{گرم } T \cdot} \qquad \text{ترکیب شده } W = \text{گرم } W \cdot$$

که در فرمول بالا:

W : وزن جریان در واحد زمان

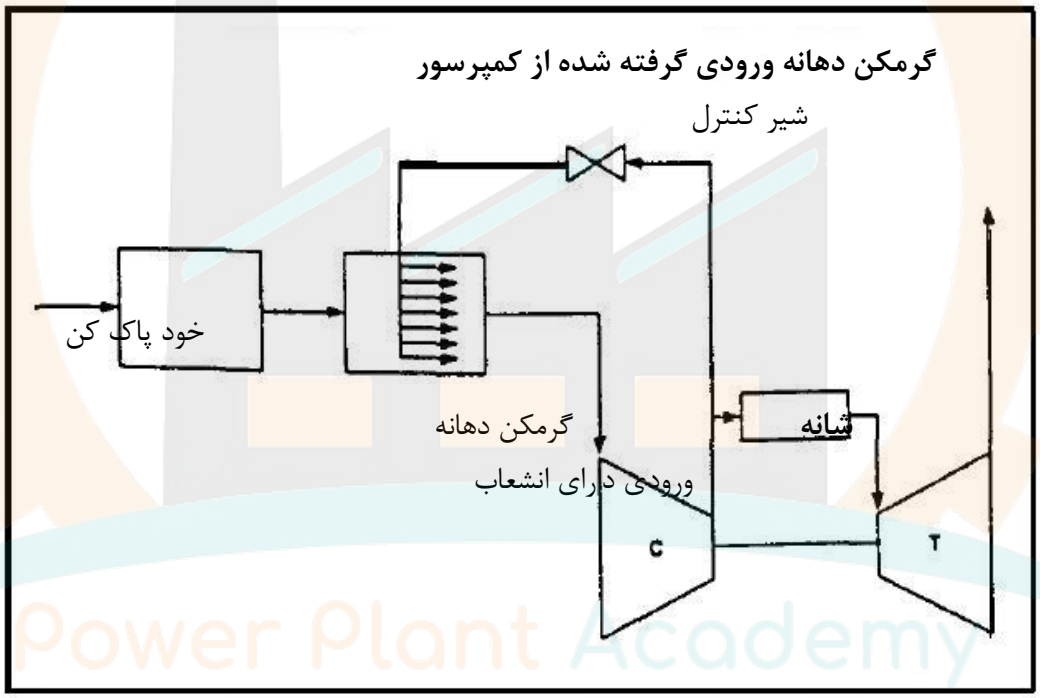
T : درجه حرارت.

سیستم‌های گرمایی داخلی اولیه شامل چرخه بخار خروجی، بازیافت گرمای خروجی و طرح چرخه کمپرسور فرعی می‌باشند. این سیستم‌ها برای جلوگیری از تشکیل یخ بر روی فیلترهای داخلی و کانالهای کمپرسور مورد استفاده قرار می‌گیرند. با پیدایش فیلتر خودپاک‌کن و قابلیت ضدیخ زدگی ذاتی‌اش، امروزه سیستم گرمای داخلی عمدتاً در نواحی‌ای که کمپرسورهای یخی عملکرد خوبی دارد مورد استفاده قرار می‌گیرند.

از سیستم‌های گرمایی داخلی‌ای که قبلاً گفته شد تنها سیستم کمپرسور فرعی امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرند. این موضوع به دلیل سادگی نسبی اش و کاهش هزینه‌اش در عملکرد توربین می‌باشد.

گرمای داخلی کمپرسور فرعی:

یک سیستم گرمایی داخلی کمپرسور فرعی از بخشی از هوای تخلیه کمپرسور برای گرم کردن هوای داخلی استفاده می‌کند (تصویر 30) بخاطر وجود نیروهای فشرده شده ، عموماً این هوا بین 500 تا 700 درجه فارنهایت می‌باشد که بستگی به دمای محیط و مدل توربین گازی دارد. این سیستم نسبتاً ساده است، چرا که تنها یک شیر کنترل مورد نیاز است و به خاطر ساده بودنش در آلاسکا و کانادا و دریای شمال بسیار قابل اطمینان و عالی می باشد.

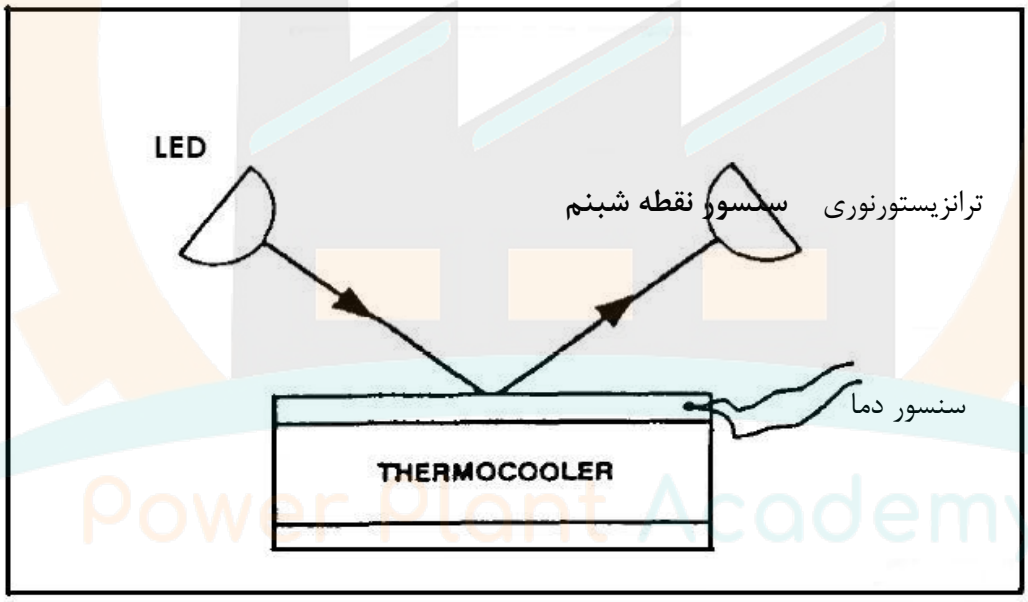


شکل 30

با توجه به اینکه سیستم کمپرسور فرعی ساده و قابل اطمینان است اما بدلیل نیاز بـه کمپرسـور فرعی کمتر از آن استفاده می‌شود. این موضوع می‌تواند با گرم‌کردن حداقل مقدار مورد نیاز برای نگه‌داشتن تمامی قسمتهای داخلی در رطوبت نسبی زیر نقطه شبنم کاهش پیدا کند.

این تشخیص با استفاده از دما امکان‌پذیر نمـی‌باشـد. آن چیـزی کـه مـورد نیـاز اسـت وسیله‌ای می‌باشد که بتواند پتانسیل مورد نیاز برای یخزدگی را اندازه‌گیـری کنـد. بنـابراین یـک سیستم کنترلی می‌تواند به منظور گرم‌شدن هوا به حد کافی و نه بیشتر طراحی شود.

راه‌حل کلیدی برای رفع این مشکل سنسوری است که مقدار رطوبت هوا را اندازه‌گیـری می‌کند مانند وسیله‌ای که در تصویر 31 نشان داده شده است.



شکل 31

یک اشعه از دیود نوری، از سطح براق یک خنک‌شده الکتریکی بر روی ترانزیستور نوری منعکس می‌شود. این صفحه تا نقطه‌ای خنک می‌شود که شبنم شروع به ته‌نشین شدن می‌کند و بدین‌ترتیب یک وقفه در اشعه ایجاد می‌شود. دما اندازه‌گیری شده و تفاوت این دما و دمای هوا، پتانسیل مورد نیاز برای تراکم یخ را مشخص می‌کند. این وسیله رطوبت را دقیق اندازه‌گیری کرده و مانع از بروز مشکل در سنسورهای نسبی رطوبت می‌شود. در مورد این ابزار گنجایش مناسب سیستم کنترل باید مورد توجه قرار گیرد.

پیشنهادات(نظریات):

آزمایشات خوبی که بوسیله فیلترهای خودپاک‌کن برای فیلتراسیون هوای داخلی و ضد یخ زدگی انجام شده است این سیستم را به یک سیستم استاندارد در محیط‌های با پتانسیل یخزدگی بالا تبدیل کرده است. هیچ سوال مبنی بر اینکه فیلترهای خودپاک‌کن هوای با کیفیت بالا را فراهم مینمایند وجود ندارد. هزاران ساعت عملکرد در بیابان نشان‌دهنده این کیفیت بالا می‌باشد. بعنوان یک وسیله ضدیخ زدگی، سادگی کلی و داشتن کمترین تاثیر بر روی عملکردش، آنرا برای استفاده کننده جذاب کرده است. سیستم گرمایی داخلی کمپرسور فرعی برای جلوگیری از یخزدگی در دهانه ورودی کمپرسور در جاهائیکه سیستم داخلی تکمیلی مورد نیاز است پیشنهاد می‌شود.

این پیشنهاد بر اساس تعادل هزینه،قابلیت اطمینان و تاثیرش بر روی عملکرد سیستم است.

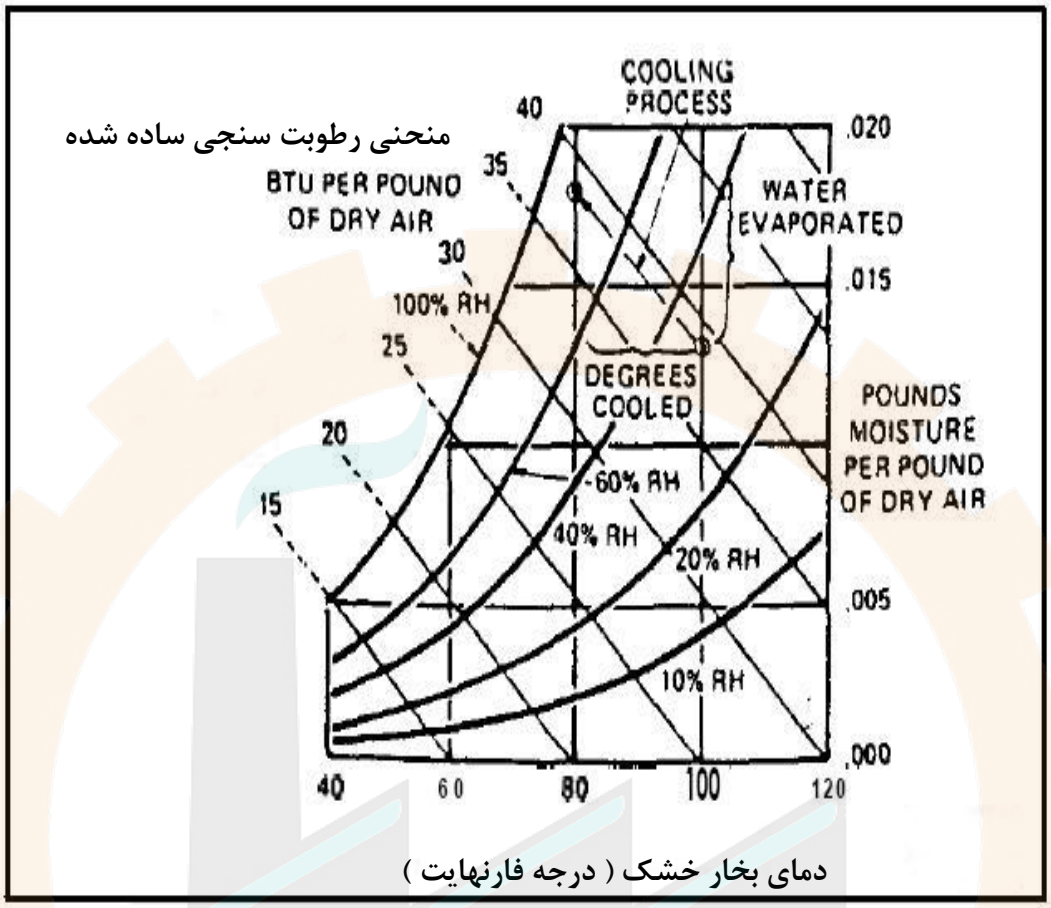
سیستم‌های خنک‌کننده داخلی

مقدمه:

یک سیستم خنک کننده داخلی یکی از تجهیزات (اپشنهای)مفید توربین گازی برای استفاده و کاربری در مکانهایی است که در ماههای گرم مورد استفاده قرار میگیرند یا در مکانهایی که رطوبت نسبی هوا بطور معمول پایین میباشد. هوای خنک متراکم‌تر می‌شود و توده هوای بیشتری به ماشین داده شده و میزان فشار بالا می‌رود، در نتیجه بازده و کارایی توربین افزایش می‌یابد. این یک روش پرهزینه برای افزایش ظرفیت ماشین در طی دوره ای میباشد که پیک قدرت به سیستم‌های الکتریکی کاربردی اعمال شده است.

دو سیستم عمده برای خنک‌کردن سیستم داخلی وجود دارد اولی و شاید مهم‌ترین سیستم مورد قبول، خنک‌کننده تبخیری است. خنک‌کننده تبخیری با استفاده از بخار آب، باعث کاهش دمای هوای داخلی می‌شود. دیگر سیستم مطالعاتی چیلر داخلی است. این سیستم اصولاً یک مبدل گرماست که با جریان‌یافتن هوای معتدل (معمولا اب خنک شده) و دفع گرما از هوای داخلی باعث کاهش دمای داخلی و افزایش خروجی توربین گازی می‌شود.

علاوه بر مزایای اشکار کسب شده از بکارگیری نیروی اضافی، استفاده از خنک‌کننده تبخیری فشار محیطی ماشین را بهبود می‌بخشد و همچنین افزایش بخار آب در هوای داخلی منجر به کاهش مقدار اکسیدهای نیتروژن تولید شده در پروسه‌های حرارتی می‌شود و بنابراین خروجی ماشین را کاهش می‌دهد.



شکل 32

نظریه کولر یا خنک‌کننده تبخیری

دمای واقعی درک شده توسط قطرات آب، تابعی از دو عامل تجهیـزات طراحـی شـده و شرایط جوی است. نحوهٔ طراحی، بازده یا ضریب کارآیی کولر را کنترل می‌کند که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\text{ضریب کارایی خنک کننده (بازده)} = \frac{T_{2_{DB}} - T_{2_{WB}}}{T_{1_{DB}} - T_{1_{WB}}}$$

اندیس 1 به شرایط ورودی و اندیس 2 به خروجی اشاره می‌کند. DB به معنای دمای بخار خشک و WB به معنای بخار اشباع است. ضریب کارایی (بازده) خنک کننده‌های تبخیری ساخت جنرال الکتریک به طور عمده هشتاده و پنج درصد است. پس دمای قطره باید با ATDB محاسبه شود:

$$ATDB = 0.85\ (T_{1DB} - T_{1WB})$$

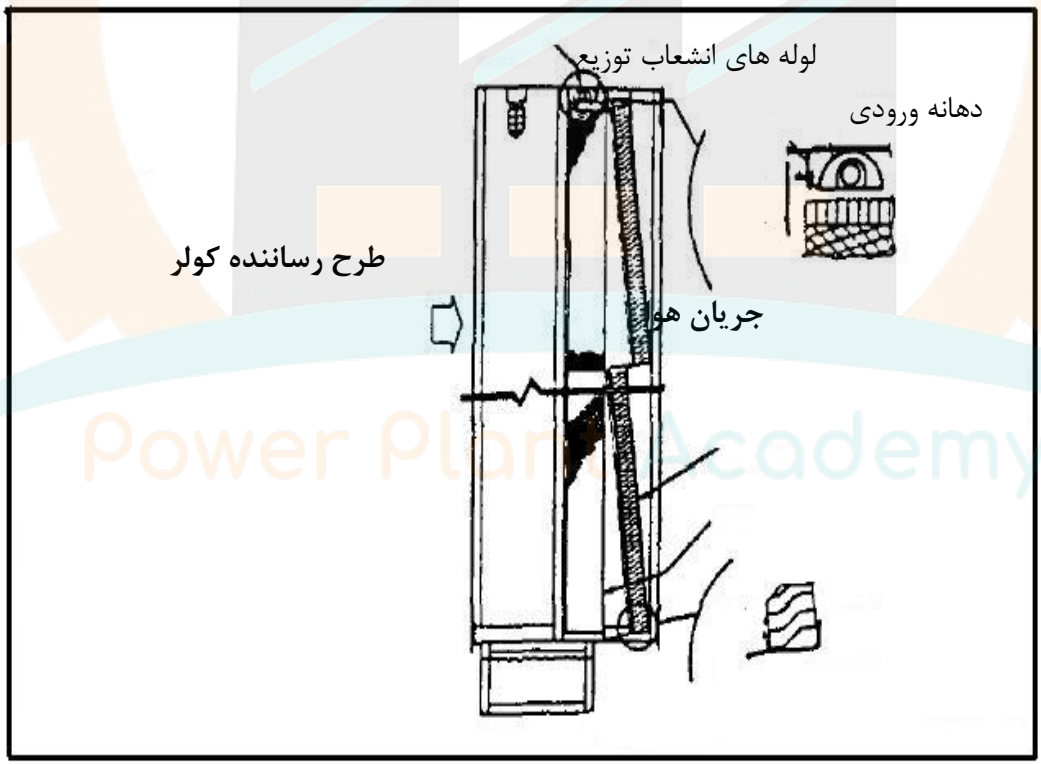
به عنوان مثال فرض کنید که دمای هوای محصور یکصد درجهٔ فارنهایت و رطوبت نسبی سی دو درصد باشد. با مراجعه به شکل 32 که نمودار رطوبت سنجی ساده شده را نشان می‌دهد، دمای بخار اشباع متناظر هفتاد و پنج درجهٔ فارنهایت است. دمای آبی که از میان خنک‌کننده پایین می‌آید بالاتر از 0.85 یا بیست و یک درجهٔ فارنهایت می‌باشد. روند خنک‌سازی از یک خط آنتالپی ثابت که به عنوان گرمای بارز با گرمای نهان تبخیر مبادله می‌شود، تبعیت می‌کند.

طرح کولر تبخیری با فیلتر خود پاک‌کن در شکل 33 نشان داده شده است. آب از یک مخزن در زیر یک اتاقک به یک شیرچه پمپاژ می‌شود که این شیرچه آب را بر روی بلوک‌های آب‌رسان یا نوع MEDIA توزیع می‌کند. این بلوک‌ها از یک سری لایه‌های رشته مانند موجدار و به صورت راه راه ساخته شده‌اند و کانال‌های درونی بین لایه‌ها شکل داده شده‌اند.

دو سرویس کانال تناوبی وجود دارد که یک در میان قرار گرفته‌اند: یکی برای آب و یکی برای هوا. این تفکیک جریانهای هوا و آب کلید کاهش انتقال اضافی است. به هر حال این یک آزمایش استاندارد در جنرال الکتریک برای فراهم کردن یک مرحلهٔ رسوب‌زدایی و جداکردن اجسام شناور در قسمت تحتانی فیلتر نوع MEDIA جهت حفاظت در برابر امکان انتقال اضافی آب است. آب به خاطر نیروی وزن به شدت از میان مجراهای آب به سمت پایین جریان می‌یابد و تماماً با عملیات فتیله گذاری به داخل بلوک‌های نوع MEDIA منتشر می‌شود. مقادیر اضافه به

سمت مخزن باز می‌گردد. تراز آب داخل مخزن با یک شناور که در موقع کمبود اجازه عبـور آب را می‌دهد {و سپس به همان حالت ثابت باقی می‌ماند}.

نقطه کاری دمای هوای محصور (که درکنترل کننده کولر تعبیه شده است) قابل تنظیم است. این کارخانهٔ سازنده است که اجـازهٔ عملکـرد کـولر در محـدوده‌ای بـالای نقطـهٔ تنظـیم را می‌دهد که باید شصت درجهٔ فارنهایت یا بالاتر باشد. اگر اجازهٔ عمل تبخیر در دمایی خیلی پایین داده شود امکان یخزدگی وجود دارد که البته قابل اجتناب میباشد. وقتی احتمال این وجود دارد که دمای بخار خشک به زیر نقطه انجماد (فریز)سقوط کند کل سیستم باید غیر فعال شود و به منظور جلوگیری از ورود خسارت به مخزن و لوله‌ها و همچنین جلوگیری از امکان اینکه سیستم متخلخل و پرمنفذ نوع MEDIA با یخ بسته و مسدود شود، باید آب آن تخلیه شده و زهکشی گردد.



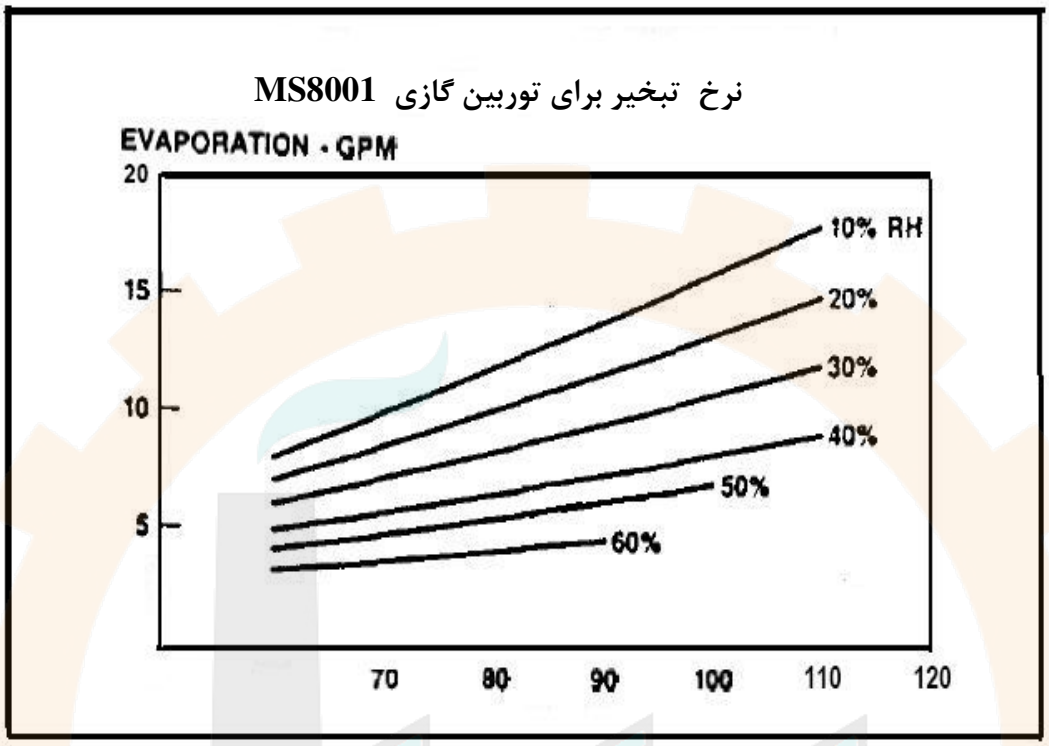
شکل 33

تجهیزات آبی:

مهمترین کارکرد خنک‌کننده‌های تبخیری در مناطق خشک و بایر است. در چنین مناطقی آب در دسترس حاوی درصد قابل توجهی از رسوبات و املاح حل شده است. اگر آب MAKE UP فقط به مقدار کافی برای جایگزین کردن آبی که تبخیر شده است، اضافه شود بدیهی است که آب داخل مخزن (که همچنین آب پمپاژ شده به فیلتر MEDIA برای تبخیر شدن میباشد) باید بوسیلهٔ مواد معدنی سنگین‌تر شود.

در این موقع این رسوبات گرایش به ته‌نشین شدن بر روی MEDIA پیدا می‌کنند و راندمان تبخیر کاهش می‌یابد و این خطر افزایش می‌یابد که رسوبات معدنی در هوا به دنبال هم کشیده شوند و وارد توربین گازی شوند. به منظور به حداقل رساندن این موضوع، معمولاً به طور پیوسته مقداری آب از داخل مخزن مکیده شده و خارج می‌شود تا محتوای رسوبات کم شود و آب رقیق‌تر شود و این عمل ته‌ریز آب نامیده می‌شود.

کل حجم آبی که باید به عنوان MAKE UP برای تبدیل تهیه شود مجموع بخار و آب ته‌ریز است. نرخ بخار شدن این آب در یک خنک کننده به دمای محصور شده و میزان رطوبت، ارتفاع، ضریب کارایی خنک کننده و جریان هوای مورد نیاز برای توربین گازی بستگی دارد.



شکل 34

مشخصه‌های خنک کننده توربین گازی MS8001 با ضریب کارایی (راندمان) هشتاد و پنج درصد در سطح دریا در شکل 34 نشان داده شده است. مقادیر متناظر برای ماشین خنک کننده MS7001 و MS9001 به ترتیب با دو برابر کردن و سه برابر کردن مقادیر نشان داده شده تخمین زده می‌شود.

یکی از عوامل اصلی در تعیین قابلیت پذیرش کیفیت آب، میزان تمایل درونی به ایجاد رسوب و ته‌نشست آن است. این میزان تحت تاثیر عواملی چون فعل و انفعال کل اجسام سخت

در آب، خاصیت قلیایی (ALK)، کل جامدهای حل شده (TDS)، PH و دمای آب است. برای کمک به تشخیص این که آیا آب موجود برای استفاده در خنک‌کننده‌های تبخیری جنرال الکتریک مناسب است یا نه، یک شاخص اشباع (SI) استفاده می‌شود.

یک تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی استاندارد در مورد آب می‌تواند کل سختی (بر حسب ppm مانند کربنات کلسیم)، املاح با خاصیت قلیایی (بر حسب ppm مانند کربنات کلسیم) ، کل جامدهای حل شده (بر حسب ppm) و PH را مشخص کند. (ppm یعنی یک قسمت از یک میلیون قسمت)

مراتب تعیین سه مولفه اول با عامل تنظیم (W) توصیف می‌شود:

$$W=\left(\frac{1}{B}+1\right)\left(\frac{1}{F}+1\right)$$

$$F=\text{سیلان}\quad\text{ضریب}=\frac{\text{نرخ آب کشیده از رساننده به مخزن}}{\text{نرخ تبخیر آب}}$$

$$B=\text{ریز ته ضریب}=\frac{\text{نرخ آب مکیده شده از مخزن}}{\text{نرخ تبخیر آب}}$$

نرخ تبخیر آب از شکل 34 به طور تخمینی بدست می‌آید. برای اکثر حالات B , F ضمن نصب سیستم طوری تنظیم می‌شوند که وقتی دمای محیط بالاست تقریباً ثابت و برابر یک باشند تا در این شرایط W = 4 باشد.

به هر حال برای تبدیل آب کم کیفیت به آب مناسب‌تر، ممکن است میزان اب ته‌ریز افزایش یابد تا عوامل و فاکتورهای تنظیم کننده را کاهش دهد.

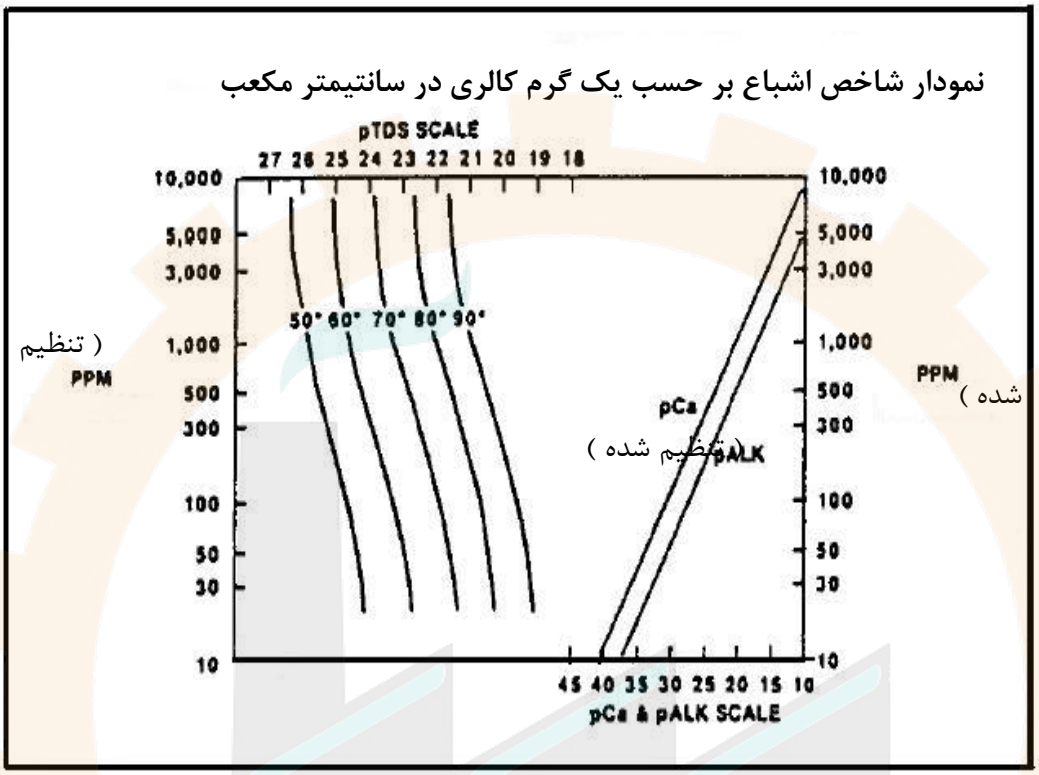
عامل سیلان (F) نباید برای جبران کیفیت آب تنظیم شود زیرا می‌تواند موجب انتقال اضافه آب مایع شود.

Ppm برای جامدهای حل شده (TDS) و املاح با خاصیت قلیایی (ALK) و سختی آب در عامل تنظیم ضرب می‌شود تا ppm تنظیمی بدست آید. برای ارزیابی مناسب بودن آب برای خنک‌کننده‌های تبخیری جنرال الکتریک ، یک نمودار شاخص اشباع بر حسب یک گرم کالری در سانتی‌متر مکعب مورد استفاده قرار می‌گیرد. (شکل 35 را ببینید).

املاح قلیایی تنظیم شده (بر حسب ppm مانند کربنات کلسیم) به PALK تبدیل می‌شود و کل سختی تنظیم شده (بر حسب ppm مانند کربنات کلسیم) به PCA تبدیل می‌شود، بدین گونه که از محور عمودی سمت راست شکل 35 حرکت کرده و مقدار متناظر با آن را روی محور افقی می‌خوانیم. کل جامدهای سخت حل شده به PTDS تبدیل می‌شود، بدین‌گونه که از محور عمودی سمت چپ شکل شروع کرده و با انتخاب منحنی دمای آب مورد نظر (که ممکن است دمای بخار اشباع باشد) مقدار متناظر را از سمت چپ محور افقی بالا می‌خوانیم.

شاخص اشباع (SI) = PH . PCA . PALK . PTDS

اگر SI کوچکتر از یک باشد نشان دهنده این است که نیازی نیست عملی بر روی آب انجام شود.



رفتارآب ممکن است جهت کنترل برخی مشخصه‌ها یا ترکیب خواص برای کاهش شاخص اشباع (SI) تا مقدار یک یا کمتر مورد بررسی قرار گیرد.

نخست نرخ ته‌ریزی طوری تنظیم می‌شود که تقریباً برابر نرخ تبخیر در یک روز گرم و درجه حرارت زیاد باشد. این نرخ ته‌ریز بعداً بر اساس آزمایشات عملی و کیفیت آب محلی تنظیم می‌شود.

با وجود دقت در کیفیت آب، فیلتر نوع MEDIA سرانجام باید برای خارج‌کردن مواد غیر محلول و ته‌نشین شونده در رسوبات شیمیایی که مقدار معینی از آن کارایی سیستم را مختل می‌کند، تعویض شود. اگر چه تجربه نشان می‌دهد که ممکن است زمان زیادی طول بکشد تا این اتفاق روی دهد.

در یک مورد عملکرد سیستم برای شش فصل تحت شرایط بسیار مضر و ناسازگار، با افت کارایی ناچیز همراه بوده است. انتظار می‌رود که فیلتر نوع MEDIA طوری به کار خود ادامه دهد که برای دوسال یا بیشتر قابل استفاده باشد. با به دست آوردن تجربیات بیشتر تخمین مذکور در معرض تغییرات است.

آزمایش‌ها نشان می‌دهد که آب تغذیه سیستم ممکن است حاوی مقادیر زیادی سدیم و پتاسیم بدون انتقال اضافهٔ این مواد به توربین گازی باشد. بنابراین توجه زیاد به جزئیات به منظور شناخت سطح کار لازم است. این توجه شامل آشنایی مناسب با بسته‌های فیلتر نوع MEDIA ، تصحیح جریانهای هوا و آب، توزیع یکنواخت آب روی سطح MEDIA و آب‌گیری مناسب جهت بازگرداندن به مخزن می‌باشد. هر نقص و ناکارایی در این مناطق ممکن است موجب انتشار آب در داخل هوا و بروز پیامدهای جدی در انرژی پتانسیلی گردد. در نتیجه نصب و نگهداری تجهیزات خنک‌کاری تبخیری بسیار مهم است.

در مناطقی که مقدار سدیم و پتاسیم موجود در آب از 133ppm تجاوز می‌کند، بهتر است که میزان ورود این عناصر به توربین گازی توسط محاسبات تعادل جرمی بصورت دوره‌ای چک شود.

اگر هر اختلافی بین نرخ ورود سدیم و پتاسیم به آب تغذیهٔ سیستم و نرخ خروج آنها در تهریز وجود داشته باشد می‌تواند به آب اضافی خروجی وارد گردد.

این موضوع بیان گر این است که تمرکز این عناصر در دهانهٔ ورودی هوا به طور برجسته باید در مقدار 0.005 ppm یا کمتر نگه داشته شود و این به معنای نرخ مکش 0.01 پاوند بر ساعت برای توربین گازی MS7001، 0.005 پاوند بر ساعت برای MS5000 , 0.0002 پاوند بر ساعت برای MS3002 می‌باشد.

آزمایش موثر(کاربردی):

هنگامی که خنک‌کننده‌های نوع متوسط برای اولین بار به کار گرفته شدند، برخی از واحدها انتقال اضافه غیر قابل قبولی را نشان میدهند. این مشکل سه عامل احتمالی داشت: فیلتر نوع MEDIA آسیب‌دیده یا به طور نامناسب نصب شده، پراکنده شدن آب از توزیع انشعابها، یا سرعت بیش از اندازه عبورهوا از فیلتر نوع MEDIA ناشی از شرایط محیطی منطقه. اولین عامل با روندهای کاری جدید و ترابری و حمل و نقل صحیح و نصب صحیح بلوک‌های MEDIA از بین می‌رود. انتقال اضافه از انشعابها با نصب صفحاتی که جلوی انتشار عناصر موجود در آب را می‌گیرد، برطرف می‌شود.

اما سومین مشکل، سرعت بالای جریان عبوری از میان بخشهای MEDIA، به سختی حل می‌شود. پس از تلاشهای قابل توجه، دو راه حل بدست امده است. اولین راه حل به هم پیوستن ترکیبات در طراحی است تا با ایجاد یک یونیت یک تکه نیروی بیشتری بر جریان یکنواخت سیال وارد شود. در این صورت سرعت در هر نقطه از سیال به اندازهٔ قابل قبول می‌باشد.

راه حل دوم ریشه‌ای تر است و شامل یک طرح جدید بوده که در آن مقداری انتقال اضافه از MEDIA پذیرفته می‌شود اما فوراً توسط تیغه‌هایی (شبیه به پره‌های رطوبت‌گیر)که در پایین دست فیلتر MEDIA نوع تبخیری قرار گرفته اند از انتقال اضافه به توربین گازی جلوگیری می‌شود.

این دست‌یافته‌ها به طور موفقیت‌آمیز در عمل اثبات شده‌اند و هر دو در حال حاضر برای عدم انتقال اضافی آب در نظر گرفته می‌شوند.

اکنون در عمل هیچ مشکلی در تحقق اهداف کارایی خنک‌کننده با راندمان بیش از هفتاد و پنج درصد نوع MEDIA وجود ندارد.

سیموله‌های خنک کننده دهانه ورودی:

همانند آنچه که در بخش خنک‌کننده تبخیری اشاره شد، دمای حقیقی گرفته شده از یک سیمولهٔ خنک‌کننده نیز تابعی از نحوهٔ طراحی تجهیزات و شرایط داخلی محصور در سیستم است. برخلاف خنک‌کنندهٔ تبخیری اگر چه سیموله‌های خنک کننده قادر هستند که دمای بخار خشک را تا زیر دمای بخار اشباع محصور کاهش دهند.

دمای واقعی کاهش یافته فقط با ظرفیت خنک‌کنندگی دستگاه، ضریب کارایی (راندمان) سیموله‌ها و حد دما یا رطوبت کمپرسور محدود می‌شود.

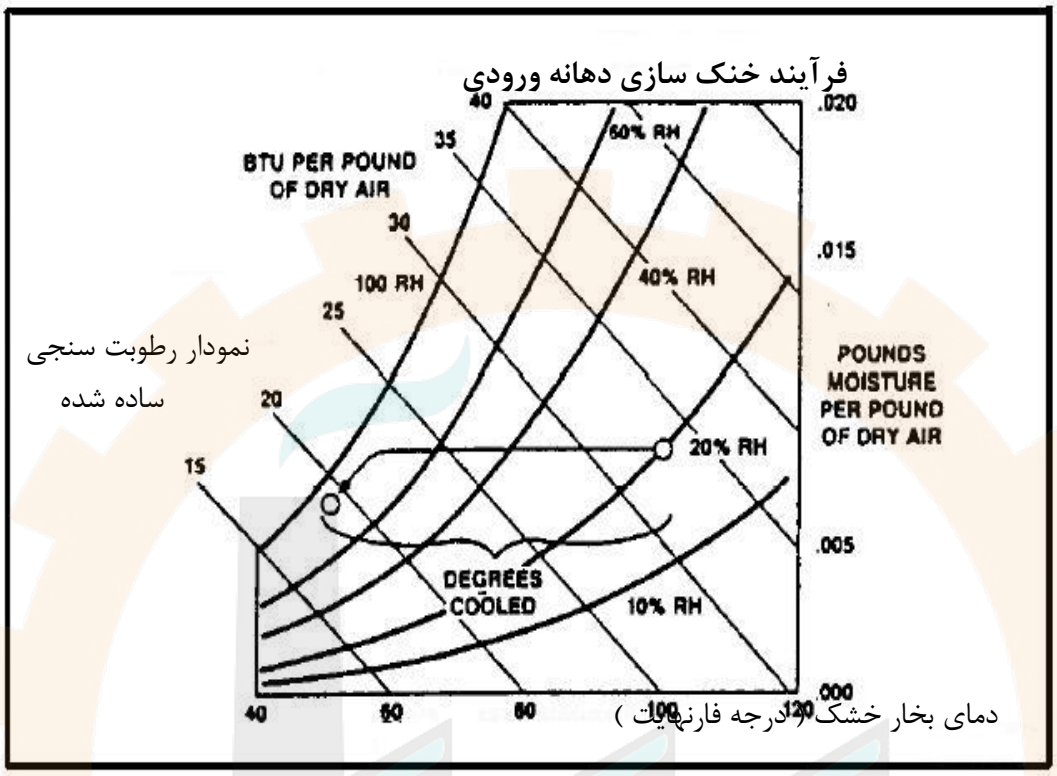
شکل 36 مشخصه سیکل خنک‌کنندگی را نشان می‌دهد که بر پایهٔ دمای بخار خشک محصور شده یکصد درجهٔ فارنهایت و بیست درصد رطوبت نسبی میباشد. آغاز خنک‌کنندگی از یک خط با میزان رطوبت ثابت پیروی می‌کند. همانطور که هوا به اشباع نزدیک می‌شود، رطوبت خارج از هوا شروع به متراکم شدن می‌کند. اگر هوا بیشتر سرد شود رطوبت بیشتری متراکم می‌شود.

بار دیگر که دما از این فرآیند تبعیت کند گرمای بیشتر و بیشتری که از هوا گرفته می‌شود برای تغلیظ و تراکم آب استفاده می‌شود. این موضوع ظرفیت کمی برای کاهش دما باقی می‌گذارد.

به دلیل پتانسیل آب تغلیظ شده و متراکم، جنرال الکتریک توصیه می‌کند که موانع شناوری در جریان پایین سیموله به منظور جلوگیری از فرورفتن بیش از حد آب به توربین گازی نصب شود. نقطه دقیقی که در آن خنک کنندگی بیشتر میسر نیست، بستگی به خروجی توربین گازی طراحی شده و ظرفیت خنک‌کنندگی سیستم دارد.

این موضوع که هوا به راحتی می‌تواند تا زیر دمای بخار اشباع خنک شود در شکل 36 به وضوح نمایان شده است. در آنجا یکی از بزرگترین فواید سیستم سیمولهٔ خنک‌کنندگی نشان داده شده است. البته لازم به ذکر است که علت حد پایین عملکرد خنک‌کننده، مربوط به دمای دهانه ورودی کمپرسور میباشد که چهل و پنج درجهٔ فارنهایت با رطوبت نسبی نود و پنج درصد می‌باشد.

در دماهای کمتر از چهل و پنج درجهٔ فارنهایت با چنین رطوبت نسبی، احتمال یخزدگی کمپرسور وجود دارد.



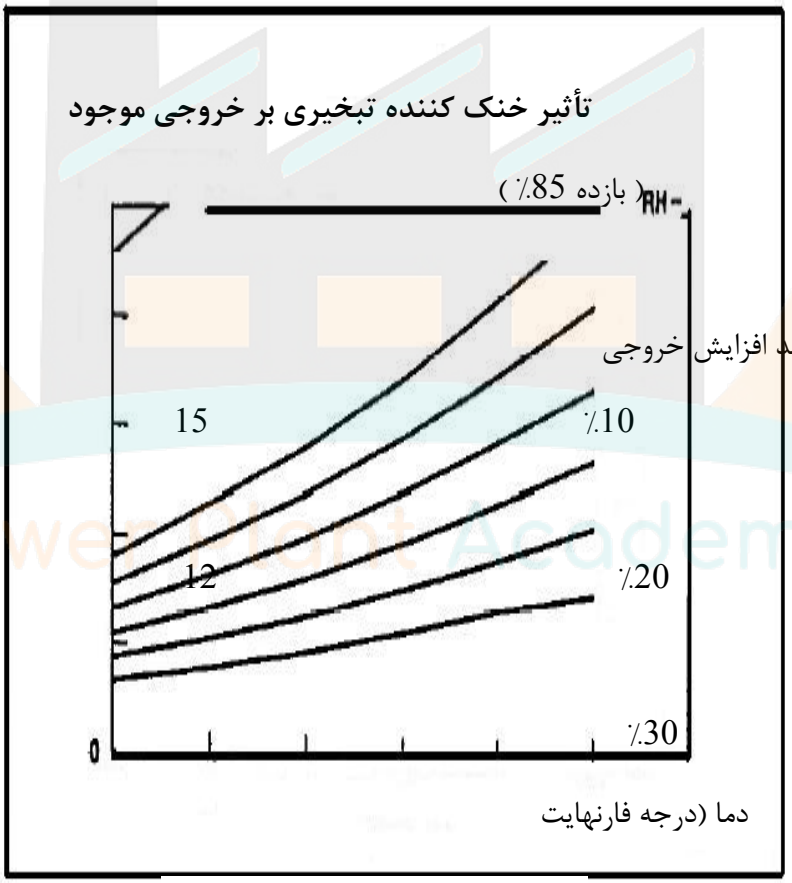
شکل 36

افزایش توان:

افزایش توان تحویلی یک توربین گازی ویژه به علت خنک‌کردن هوای دهانهٔ ورودی، به مدل ماشین و ارتفاع محل در کنار دمای داخلی محصور و رطوبت بستگی دارد. شکل 37 می‌تواند برای برآورد و تخمین این مزیت برای خنک‌کننده‌های تبخیری مورد استفاده قرار گیرد.

همان‌گونه که انتظار می‌رود، بیشترین پیشرفت {افزایش توان توربین گازی در اثر استفاده از خنک کننده های تبخیری} در هوای خشک و داغ صورت میگیرد.

توان افزوده شده از یک سیموله خنک‌کننده همچنین به ظرفیت خنک‌کنندگی بستگی دارد. پس برآورد دقیق و کلی بسیار مشکل است. اضافه کردن یک سیستم خنک‌کننده در قسمت دهانه ورودی از نظر اقتصادی امکان‌پذیر و مناسب رشد و ترقی است، زمانی که میزان خروجی اضافه شده خیلی بیشتر از هزینه‌های اولیه و کاربردی طرح مذکور باشد و شرایط آب و هوایی مقتضی اجازهٔ کاربرد بهینه تجهیزات را بدهد.



خلاصه: نشان داده شد که محیط‌های بسیاری وجود دارد که در آنها بـه طـور طبیعـی شـرایط ناسازگاری برای عملکرد توربین گازی وجود دارد، اما جنرال الکتریـک (GE) حـوزهٔ وسـیعی از تجهیزاتی را که بر رفتار دهانهٔ ورودی توربین اثر گذارند گسترش داده است که اجـازه مـی‌دهـد ماشین‌های ساخت آن با این شرایط سازگار شده و به صورت موفقیت‌آمیزی کار کنند.

با اطلاعات داده شده در این مقاله امید اسـت کـه کـاربران تـوربین گـازی قـادر باشـند نیازمندیهای درونی سیستم را برای رفتار دهانهٔ ورودی هوا بشناسند تا با آگاهی و کاردانی بیشتر قسمت‌های مختلف تجهیزات و اپشن های ان را بکار گرفته انتخاب کنند.

مهندسان جنرال الکتریک دارای چندین سـال تجربـه در ایـن زمینـه هسـتند و آمـادهٔ مشاوره و کمک در انتخاب قسمت‌های مختلف دهانه ورودی و تجهیزات مناسـب بـرای افـزایش کارایی و بازده توربین گـازی،افزایش قابلیـت اعتمـاد آن و افـزایش ضـریب نگهـداری سیسـتم می‌باشند.

فصل پنجم:

بررسی سیستم‌های خنک‌کننده هوای دهانه ورودی توربین احتراق

چکیده

عملکرد یک توربین احتراق (CT) با تغییر دمای هوای محصور شده به طور قابل توجهی تغییر می‌کند. هنگامی که دمای هوا افزایش می‌یابد، به همان اندازه از چگالی یا تراکم آن کاسته می‌شود و پیامد آن کاهش جرم هوای جریان یافته در کمپرسور و توربین است که در نتیجه باعث کاهش متناظر در خروجی توربین می‌شود. معمولاً این کاهش در خروجی توربین زمانی اتفاق می‌افتد که توان مورد نیاز خیلی زیاد است.

با خنک‌کردن هوای دهانه ورودی به کمپرسور می‌توان از این تنزل در خروجی توربین (افت خروجی توربین) جلوگیری کرد. خنک‌کردن هوای دهانهٔ ورودی، یک شیوهٔ در حال توسعه و به عنوان یکی از با ارزش‌ترین و پرهزینه‌ترین شیوه‌های موثر در افزایش ظرفیت و قابلیت توربین شناخته می‌شود.

هدف از این مقاله بحث در مورد شیوه‌های مختلف خنک‌کردن هوای دهانهٔ ورودی، عوامل مهمی که بر امکان و شدنی‌بودن آن از نظر اقتصادی تاثیرگذار هستند و انتخاب شرایط طراحی می‌باشد.

هر دو نوع خنک کننده،1-خنک کننده های تبخیری که در آن هوای محصور تا حد دمای بخار اشباع خنک می‌شود و همچنین خنک کننده های یخچالی که در آن دمای درونی سیستم بسته تا زیر دمای بخار اشباع کاهش داده می‌شود مورد بحث قرار گرفته است.

یک تاسیسات کوچک هم بررسی شده است که در آن خنک‌سازی هوای دهانه ورودی جهت افزایش خروجی توربین به صورت موفقیت‌آمیز به کار رفته است.

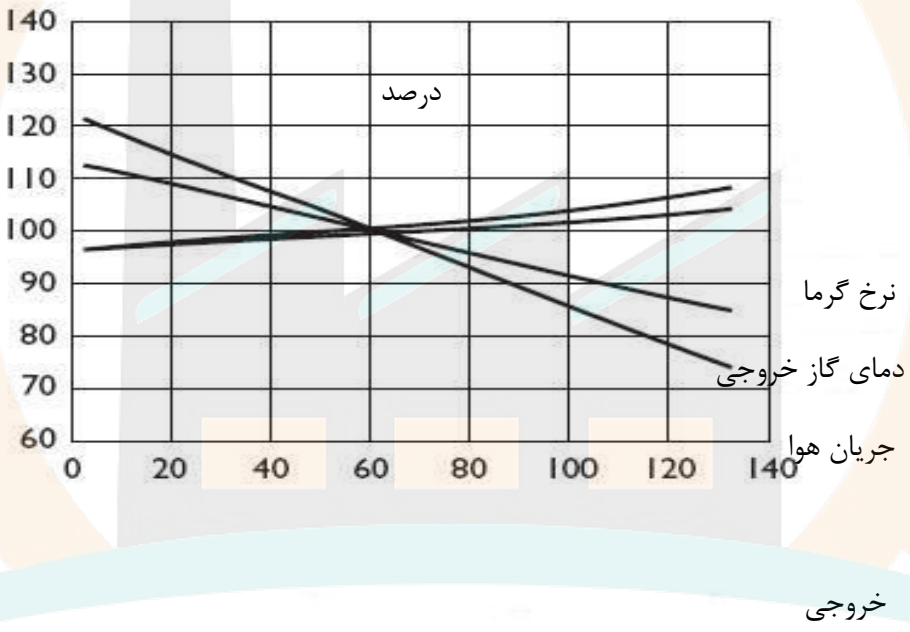
مقدمه و معرفی:

برای بهبود عملکرد یک توربین احتراق (CT) که در نیروگاه قرار دارد، چندین عملکرد وجود دارد. این عملکردها شامل تزریق آب یا بخار، خنک‌سازی هوای دهانهٔ ورودی توربین، استفاده از سوخت قبلاً گرم شده،ایجاد پیکربندی یا اصلاح ساختار در توربین بخار یا استفاده از سیستم های چند فشاره HRSG ، اشتعال در مجرای احتراق HRSG و ... می‌باشد.

جدای از این اعمال که مرتباً رو به افزایش است، خنک‌سازی دهانه ورودی هوا به طور عالی یک شیوهٔ موثر در افزایش کارآیی و عملکرد در هنگام وجود هوای داغ محصور در سیستم می‌باشد. به وسیلهٔ خنک‌کردن هوا در مدخل جذب و مکش آب کمپرسور، تاثیر آب و هوا روی عملکرد توربین کاهش می‌یابد و عملکرد توربین گازی سازگار با محیط و قابل پیش‌بینی می‌شود. بنابراین ازوسایل جانبی و پروسه های پشتیبانی برای رسیدن به حالت مطلوب استفاده میشود.

شکل شمارهٔ 1 تاثیر دمای هوای محصور بر خروجی توربین، نرخ گرما،جریان هوا و دمای خروجی توربین را نشان می‌دهد.

گین در خروجی توربین بخار ناشی از کاهش یافتن دمای هوای دهانهٔ ورودی کمپرسور توربین احتراق خیلی کوچکتر از یک CT است و علت آن این است که تقلیل در دمای خروجی CT تا دمای پایین‌تر از هوای محصور، گین ناشی از افزایش تولید بخار را جبران کرده و آن را خنثی می‌کند. روی هم رفته گین کلی در خروجی چرخهٔ توان ترکیب شده ناشی از کاهش دمای هوای دهانه ورودی بالاتر از یک CT است که در حالت چرخهٔ ساده کار می‌کند.



دمای هوای دهانه ورودی کمپرسور (درجه فارنهایت)

شکل 1 - تأثیر دمای هوای دهانه ورودی کمپرسور بر عملکرد توربین احتراق

انواع سیستم‌های خنک‌کنندگی

دو نوع اصلی سیستم‌های خنک‌کنندهٔ هوای دهانه ورودی عبارتند از:

- مه پاشی – خنک سازهای تبخیری برای گرفتن گرمای بارز
- خنک سازهای یخچالی برای گرفتن گرمای نهان و بارز

روش خنک‌کردن با استفاده از مه‌پاشی

در این نوع خنک‌سازی، آب در تماس با هوای وارد شونده قرار داده می‌شود. به همان اندازه که آب از هوا گرما می‌گیرد و به بخار تبدیل می‌شود، جریان هوا خنک می‌شود.

این سیستم‌ها در شرایط آب و هوایی خشک تر خوب کار می‌کنند زیرا آنها هوای دهانه ورودی را تا نزدیک دمای بخار اشباع خنک می‌کنند. برای مناطق با رطوبت بالا، این سیستم‌ها کمترین خنک‌سازی را فراهم می‌کنند زیرا وجود محتوای رطوبت و نم بالا در هوای محصور، قابلیت جذب رطوبت اضافی آن را محدود می‌سازد. برای اینگونه خنک‌سازی آب مقطر ترجیح داده می‌شود تا رسوب و ته‌نشستی در ذرات کوچک که به سمت کمپرسور می‌روند، باقی نگذارد.

ممکن است غبارزداها یا فیلترها بسته به سرعت هوا در آب یا نوع هوای برخوردی با محل اسپری شدن ذرات اب در محل پاشیده شدن، فاصلهٔ محل برخورد با دهانه ورودی توربین و مقدار آب مورد استفاده برای خنک‌سازی مورد نیاز باشند.

این روش خنک‌سازی به طور نسبی دارای تاسیسات ارزان و مقرون به صرفه می‌باشد. وقتی افشانه‌ها (مه‌پاش‌ها) استفاده می‌شوند، آب به جریان هوا از طریق دهانک (سرلوله آب) هایی که در مقطع عرضی با هوای ورودی قرار دارند، پاشیده می‌شود.

روزنهٔ این دهانک‌ها کمتر از یک هزارم اینچ است. بنابراین غالباً برای جلوگیری از مسدود شدن دهانک‌های باز، آب کانی‌زدایی شده و کاملاً خالص مورد نیاز است.

وقتی آب کاملاً خالص و کانی‌زدایی شده مورد استفاده قرار گیرد به طور طبیعی کار گذاشتن لوله‌های فولادی ضدزنگ و نحوهٔ آرایش دهانک‌ها برای حفاظت لوله‌ها از خوردگی تدریجی و زنگ‌زدن، باید مورد توجه قرار بگیرد.

سایز قطرات آب تابعی از ابعاد nozzle و فشار آب می‌باشد. امتیاز اصلی مه پاشها کاهش فشار داخلی هوا در زمانیکه عملیات مه پاشی غیر عملی و قابل صرفنظر کردن می‌باشد به علاوه کنترل دقیق سطح رطوبت هوای سرد زمانیکه مه پاشها به جای دستگاه تبخیر کننده استفاده شوند امکانپذیر میباشد. استفاده از ابزار خنک‌کننده تبخیری به سطح گسترده‌ای نیاز مند است تا زمان تماس کافی میان آب و هوا ایجاد گردد، MEDIA موجب کاهش فشار اضافی در شرایط محیطی سرد زمانیکه خنک کردن مورد نیاز نمیباشد میگردد.

خنک‌سازی یخچالی:

خنک سازهای یخچالی میتوانند با سیستم های خنک کنندگی پیوسته و همچنین با سیستم های خنک کنندگی که از منابع انرژی حرارتی استفاده میکنندر یک دسته قرار می گیرند.

خنک سازی پیوسته: این نوع خنک‌سازی در حقیقت خنک‌سازی فوری می‌باشد و زمانی موثر است که نیازی برای بهبود و افزایش قدرت برای بیشتر از 6 ساعت در روز وجود داشته باشد، چندین راه جهت خنک سازی پیوسته وجود دارد. منجمد سازی مستقیم چیلرهای الکتریکی،

چیلرهای جذب. در یک سیستم منجمدسازی مستقیم ماده سرد کننده مستقیماً از طریق سیم لوله های خنک کننده که در جایگاه فیلتری قرار گرفته اند به چرخش در می اید، اگر چه سرماسازهای دیگر هم می‌توان استفاده کرد.

آمونیاک به خاطر پرهیز از شکل‌گیری اسید در کمپرسور استفاده می‌شود. سیستم بهینه یک سیستم سرشار از آمونیاک مایع می‌باشد که از کمپرسورهای نوع SCREW و سیستم های متراکم کننده تبخیری استفاده میکنند. Over feed مایع به منظور افزایش تبادل حرارتی تا میزان 30-25٪ مورد استفاده قرار میگیرد. آمونیاک چند فشاره می‌تواند با سیم‌لوله های چند طبقه ای به منظور کاهش میزان مصرف برق کمپرسور مورد استفاده قرار میگیرد. کمپرسور می‌تواند توسط برق یا گاز کار کند .یک سیستم احتراق گازی منجر به کاهش میزان برق مصرفی در مقایسه با برقی که باعث حرکت کمپرسور میشود خواهد شد. اگر چه ایجاد نیرو در سیستم هنوز نیازمند استفاده از پمپ‌های سرماساز یا پمپ‌های نفتی یا دیگر تجهیزات کمکی دارد، درست است که استفاده از یک سیستم احتراق گازی موجب بهبود و افزایش قدرت برق شبکه خواهد شد اما باعث بالا رفتن هزینه تجهیزات میگرددو همچنین ایجاد چنین سیستمی نیاز به تعبیه و در اختیار داشتن فضای مناسب جهت نصب تجهیزات و صرف هزینه های تعمیر و نگهداری دارد.

راه اندازی کمپرسور گازی زمانی توصیه میشود که سیستم برق کمکی اماده بارگیری و سوِیپچینگ باشد. یک سیستم اعلام خطر می‌تواند با سیستم سرماساز مستقیم برای شناسایی نشت سرماساز استفاده شود. اگر سرماساز از سیملوله ها نشت کند آن فوراً به Vapor علامت می‌فرستد زیرا فشار کاهش می‌یابد به زودی سوراخ شناسایی می‌شود. سیستم کنترل باید سیستم را خاموش کند و از طریق کمپرسور ،مایع مبرد (سرما ساز) را از سیملوله ها به بیرون

پمپ نماید. استفاده از چیلرهای الکتریکی موفقیت‌آمیز است خصوصاً برای ایجاد خنک سازی پیوسته برای چندین سیستم(شکل 2 را ببینید).

مقدار مصرف برق برای چیلرهای الکتریکی بالاتر از سیستم خنک‌کننده یخچالی مستقیم است البته به خاطر حلقه اضافی آب. به هر حال پیشرفت‌های اخیر در این زمینه بسیار بوده است. کاربرد چیلرها نیازمند ارزیابی مورد به مورد این مفاهیم و پایه هاست. مصرف برق کمکی (استفاده از ژنراتورها) برای چیلرهای الکتریکی می‌تواند بین 1 تا 3 برابر در مقایسه با سیستم های یخچالی مستقیم باشد.(یعنی میزان مصرف برق کمکی در چیلر های الکتریکی میتواند با سیستم های یخچالی مستقیم برابر باشد یا حتی تا 3 برابر بیشتر نیز باشد). چیلرها در بسته‌های استاندارد قرار گرفته و حتی به فضای کمتری نسبت به سیستم‌های خنک‌کننده مستقیم نیاز دارند.خنک کننده های (چیلر های) جذبی مخصوصاً انهایی که از لیتیوم بروماید استفاده می‌کند بطور موفقیت‌آمیزی برای ایجاد سرما سازی در بسیاری از مشتقات توربین گازی برای چندین سال بکار گرفته شده اند.

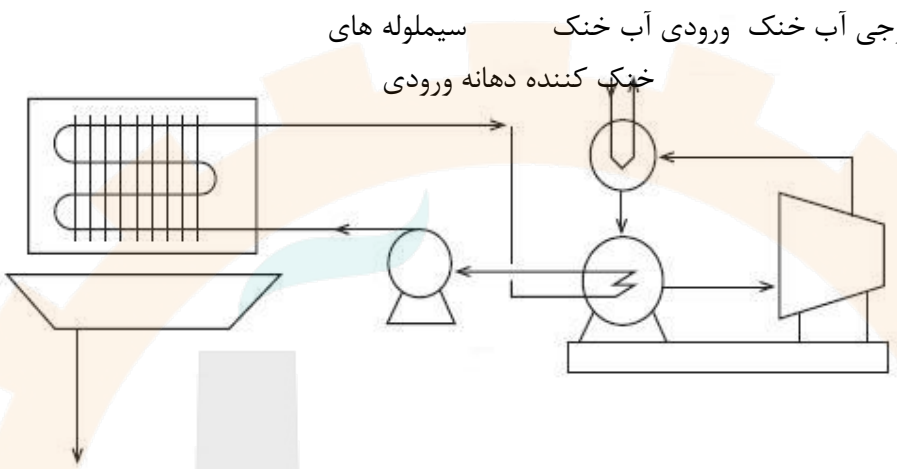
چنین سیستمی می‌تواند هوای درونی را تا 50 درجه فارنهایت خنک سازد منبع حرارتی ژنراتور می‌تواند گاز ، بخار ، آب داغ یا گازهای خروجی توربین باشد. اگر چه از منبع گرما با استفاده کردن از انرژی برق چشم پوشی میگردد اما هنوز استفاده از پمپها، فن‌های کندانسور و وسایل دیگر لازم می‌باشد بخش‌های جذبی می‌تواند تکی یا 2تایی اثر کند. بخش تک اثری یک ضریب عملکرد Cofficient Of Proformace (COP) بین 7/. تا 9/. دارد که در حالیکه بخش 2 اثری یک COP (ضریب عملکرد) در حدود 1/15 دارد. سیستم جذبی تک‌اثری به فشار بین 1 تا 1/4 بار بخار نیاز دارد و بخش جذبی 2 اثره بخاری به فشاری حدود 8/3- 7/9 بار نیاز دارد.

فشار بخار پایین می‌تواند برای بخش‌های 2 اثره استفاده می‌شود اما آنها کار سیستم کاهش می‌دهند. برای مثال کاهش فشار بخار تا 4/8 بار عملکرد چیلر را تا 20 درصد کاهش می‌دهد. بخش جذبی 2 اثره بخار در حدود نیمی از نیاز بخار یک سیستم تک اثره را دارد . برای احتراق توربین‌هایی که با یک چرخه ساده در حال فعالیت هستند مقدار مهمی از انرژی توسط گازهای خروجی به اتمسفر تلف می‌شود. آن خصوصاً زمانی که این انرژی برای اهداف خاص بکار گرفته شود مهم است. گازهای خروجی از توربین باید مستقیماً به عنوان منبع گرمایی برای ژنراتور استفاده شوند یا حتی می‌توانند برای تولید بخار یا آب داغ با کمک مبدل‌های گرمایی که در قسمت خروجی توربین قرار گرفته اند استفاده شوند. تولیدکنندگان سیستم جذبی معمولاً درجه حرارت گاز خروجی را از 650 درجه سانتی‌گراد یا بیشتر برای کارکرد مفیدتر پیشنهاد می‌کنند. به هر حال توجه باید صورت گیرد. خصوصاً وقتی که بهره برداری از بخار یا آب داغ نیازمند اضافه کردن تجهیزاتی همچون مبدل گرمایی یا بخش های ترانسفر گرمایی در HRSG میباشد زیرا کاهش فشار اضافی از طریق چنین بخش‌هایی شناخته می‌شود.

این کاهش فشار می‌تواند در نیروگاه ها یا واحد های سیکل ترکیبی مهم باشد به ویژه زمانی که بخشهای مختلف به عنوان retrofits هنگامیکه طراحی سیستم یا نیروگاه کامل نشده است نصب گردیده اند.

برای جاذب‌هایی که از بخار یا آب داغ استفاده میکنند وسیله ای به منظور استفاده از بخار یا آب داغ زمانی که جاذب‌ها در شرایط بارگیری در حال فعالیت هستند بایستی فراهم گردد. برای مثال اگر بخار در یک HRSG تولید شود در اینصورت آن برای گردش (چرخش) ژنراتور در سیستم جذبی برومید لیتیوم استفاده می‌شود اگر بار خنک کننده کمتر از شرایط طراحی باشد

تمام بخار موجود مورد استفاده قرار نمیگیرد در آن مورد بخار ممکن است از کندانسور بگـذرد و در اتمسفر تهویه شود و یا برای کاربرد دیگر استفاده شود.



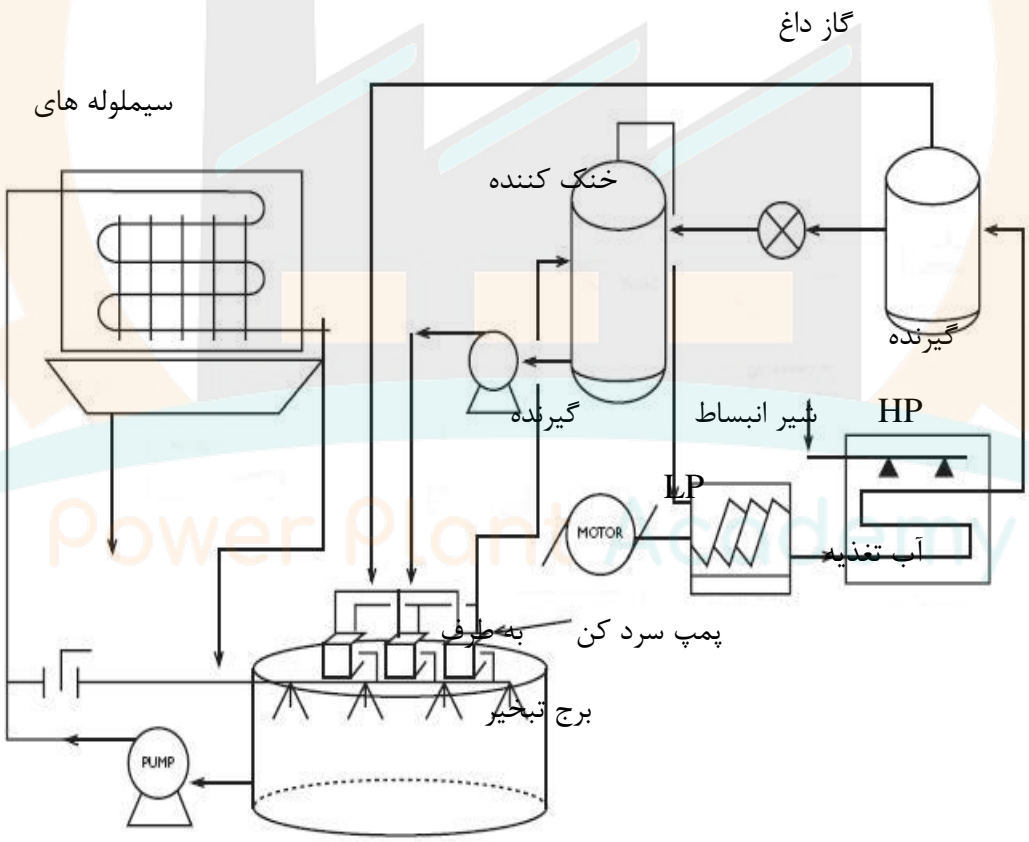
شکل 2 – شماتیک یک سیستم خنک کننده هوای دهانه ورودی توربین

ذخیره انرژی حرارتی

این روش خنک‌سازی زمانی به کار گرفته می‌شود که افزایش ذخیـره بـرق تنهـا بـرای چندساعت در روز نیاز باشد{یعنی در ساعات پیک مصرف} با یک سیستم ذخیره انرژی حرارتی میزان سرمای تولید شده در ساعات غیر پیک رزرو میشود. این ذخیرهٔ انرژی در ساعات پیـک مصرف برای خنک کردن هوای درونی و افزایش ظرفیت توربین مورد استفاده قرار می گیرد.اگر انرژی ساخته شده بیش از زمانی که طول میکشد تا مصرف شود در حالت رزرو باقی بماند اندازهٔ سیستم خنک‌کننده یخچالی مورد نظر در مقایسه با سیستم خنک‌کننده پیوسـته کـاهش مـی یابد. اگر چه مقداری انرژی(برق) برای سیستم آب chiller لازم می‌باشد اغلب گین (بهره) نهایی

در خروجی در طول ساعات Peak به عنوان قدرت قابل ارسال در دسترس می‌باشد.یخ، آب یا مایع‌های قابل انتقال گرمایی دیگر به عنوان وسیله ذخیره انرژی استفاده می‌شوند.

شکل 3 یک سیستم TES نمونه ای را که از یخ به عنوان ذخیره انرژی سرمایی استفاده می کند را نشان می‌دهد . یخ اغلب یک وسیله ذخیره معمولی است زیرا توانایی نگهداری انرژی آن چندین مرتبه است البته نسبت به مایعات دیگر. آب سرد و مایعات دیگر یک جایگزینی برای یخ محسوب می‌شوند و در واحدها یا ساختارهای کوچک میتوانند با هزینه کمتر اجرا گردند. به هر حال چنین سیستم‌هایی ممکن است به 7 برابر ظرفیت ذخیره یخ نیاز داشته باشند و بنابراین کاربرد آنها در شرایطی محدود می‌باشد.



کندانسور تبخیری کمپرسور تبخیر

کننده

شکل 3 - شماتیک یک سیستم خنک کننده دهانه ورودی هوا با ذخیره انرژی گرمائی

سیستم هایبرید:

در بعضی از کاربرد ها ترکیبی از اپشن های مختلف خنک‌کننده منجر به بهینه‌سازی سیستم می‌شود.برای مثال یک چیلر می‌تواند برای ذخیره آب خنک در طول این مدت استفاده می‌شود زمانی که تمامی ظرفیت چیلر برای خنک‌کردن استفاده نشود آب خنک می‌تواند در طول ساعات پیک برای ایجاد سطوح خنک‌کننده بیشتر استفاده شود. چنین طراحی اندازه چیلر را کاهش می‌دهد. به هر حال آن ممکن است به یک تانک برای ذخیره انرژی نیاز داشته باشد که در نتیجه هزینه سیستم را افزایش می‌دهد. ارزیابی اقتصادی یک سیستم بهینه به اندازه واقعی سیستم و انتخاب آن نیاز دارد. این وسیله در چندین موارد قابل استفاده است. برای توربین‌های بزرگ وقتیکه تقاضا تا جایی است که خنک سازی برای دوره زمانی پیوسته نیاز است و پیک تقاضا ساعات کمی از روز میباشد .

پارامترهای طراحی

فاکتورهای اصلی طراحی که روی صلاحیت و عملکرد یک سیستم خنک‌کننده هوای CT موثر است به شرح زیر است:

1- درجه حرارت محیط اطراف

2- نسبت جریان هوا به خروجی توربین

3- شیب منحنی عملکرد توربین

4- ساعات عملکرد و کار توربین

درجه حرارت بخار اشباع محصور اثر مهمی را روی اندازه و هزینه سیستم دارد.

از آنجاییکه بیشتر بار دستگاه خنک کننده از نوع بارهای latent یا پنهان میباشند بنابراین آن در شرایط طراحی بسیار مهم است. اغلب شرایط طراحی بر اساس درجه حرارت بخار خشک و رطوبت نسبی (RH)میباشند. میانگین این 2 پارامتر برای انتخاب شرایط طراحی که ممکن است منجر به طراحی سیستم خنک‌کننده شود در نظر گرفته میشود. برای نمونه اگر در ازمایشهای منطقه‌ای RH، 90 درصد در 30 درجه سانتیگراد باشد و اگر همان RH در یک سیستمی که درجه حرارت بخار خشک آن 35 درجه سانتیگراد باشد اندازه سیستم خنک‌کننده یخچالی بایستی 39٪ افزایش یابد. شرایط طراحی با در نظر گرفتن درجه حرارت بخار اشباع که اگر بیشتر از $33/1^{\circ}$ سانتی‌گراد باشد ویژه می گردد.

که چنین حالتی به عنوان یک پارامتر غیر واقعی طراحی مطرح میگردد. این طراحی ممکن است توانایی استفاده از سیستم خنک‌کننده هوای داخلی را تغییر دهد. که چنین طرحی برای محاسبه درجه‌حرارت بخار اشباع از طریق درجه حرارت بخارخشک و RH و سپس مقایسه

این مقادیر با مقادیر موجوددر ASHRAE یا دیگر کتاب‌های اطلاعات آب و هوایی توصیه میگردد. اگر مقادیر محاسبه شده بیشتر یا کمتر از RH بخار اشباع باشند به عنوان مقادیر پیشنهادی در نظر گرفته میشوند. شرایط طراحی برای جلوگیری از اختلال باید بر اساس درجه حرارت بخار خشک واشباع مشخص شوند.

معمولا مشاهده میشود که درجه حرارت بخار اشباع تحت تاثیر اندازه سیستم خنک کننده میباشدو مناطق مرطوب برای خنک‌کردن هوای دهانه ورودی مناسب نیستند برای مثال سیستم خنک‌کننده مستقیم یخچالی در NEW ORLEAN بایستی تقریبا تا 90 درصد بزرگتر از سیستمی باشد که درSANJOSE برای همان درجه حرارت دهانه ورودی هوا در خواست میگردد. اگر چه اندازه ابزار خنک‌کننده یخچالی با مقدار رطوبت افزایش می‌یابد و رطوبت بالا کارایی سیستم خنک کننده تبخیری برای ایجاد خنک سازی دهانه ورودی هوا محدود میکند و توانایی عملکرد توربین در مناطق با رطوبت بالا با سیستم خنک کننده یخچالی میتواند افزایش یابد.

معیار مهم دیگر جریان های هوا می‌باشد سطح خنک‌کننده مستقیماً با جریان های هوا در تناسب است و در نسبت های کم‌تر کارایی سیستم خنک کننده دهانه ورودی هوا افزایش می یابد. برای نسبت کمتر از 30 عملکرد خنک‌کننده پرهزینه میباشدو در نسبت بین 30 تا 35 هزینه عملکرد ان کمتر میشود. توربین‌های گازی جدیدتر دارای نسبت های کمتری {از سطح خنک کننده گی و میزان جریان های هوا} می باشند و بنابراین افزایش عملکرد قابل قبولی را در دماهای پایین تر دهانه ورودی هوا ایجاد می نمایند.چنین اعدادی برای توربین‌های گازی در آینده موثرتر می‌باشند، زیرا آنها نسبت حرکت جریان های هوایی پایین‌تری دارند. هزینه ظرفیت خنک سازی با اندازه آن سیستم رابطه عکس دارد. بنابراین این امکان وجود دارد که

سیستم های بزرگتر با نسبت بالاتر جهت مشخص شدن هزینه عملکرد و کارایی شان با سیستم های کوچکتر با نسبت کمتر تعویض گردند. میزان بازده یا خروجی افزایش می یابد زیرا خروجی ممکن است توسط شفت توربین اسب بخار یا میزان KVA ترانسفورمر ژنراتورمحدود شود.

برای نصب‌های موجود بهبود خروجی تا حد ممکن میتواند توسط مقایسه خروجی توربین در شرایط طراحی با خروجی ثبت شده در درجه حرارت دهانه ورودی هوا تعیین شود.خنک سازی دهانه ورود هوای خنک در زمستان شاید چندان اهمیت نداشته باشد تا در تابستان. اگر بیشتر از 6 ساعت خنک سازی لازم باشد خنک سازی پیوسته یک روش موثر و پر هزینه میباشد.در غیر این صورت خنکسازی تجهیزات در مکانهایی که از کل ظرفیت سیستم استفاده نمیشود هم اکنون یک روش موجود و در دسترس میباشد. آن به خاطر اندازهٔ سیستم خنک‌کننده است که با تعداد ساعات خنک سازی مورد نیاز و تعداد ساعات افزایش مصرف تناسب مستقیم دارد که اندازه و هزینه سیستم مورد نیاز را متقابلا افزایش میدهد.حتی اگر سیستم خنکسازی مستقیم نیازمند افزایش ظرفیت خنک کنندگی در مقایسه با یک سیستم TES گردد. هزینه آنها یکسان می‌باشد زیرا ذخایر موجود در ظرفیت خنکساز به منظور رزرو سرما توسط تانک ذخیره بکار گرفته میشوند.انتخاب سیستم خاص به نیازهای خریدار وابسته است. محاسبات اقتصادی در مورد نرخ ساعات پیک و غیر پیک به قضاوت در مورد مناسب بودن یک سیستم در مقایسه با سایر سیستمها کمک می‌کند.

بررسی‌های اقتصادی

هزینه سیستم خنک‌کننده دهانه ورودی هواغلب بر اساس S/Kw ارزیابی می‌شود یک راه بهتر ارزیابی اقتصادی یک سیستم خنک‌کننده از طریق آنالیز هزینه ها می‌باشد. در حالیکه

در آمدهای اضافی بر اساس مگاوات ساعت اضافی، هزینه‌های سوخت و گین در تولید بخار محاسبه می‌گردد. معیار ارزیابی اقتصادی ممکن است از یک تولید کننده برق به دیگری متفاوت باشد. برای بعضی ممکن است درآمدهایی از طریق افزایش ظرفیت حاصل گردد و برای برخی دیگر ممکن است کمک هزینه‌ای در قبال ایجاد یا افزایش ظرفیت و جلوگیری از ضرر داده شود. تمامی این فاکتورها در کسب درآمدهای کلی موثر میباشند و باید برای ارزیابی اقتصادی محاسبه گردند.

فاکتورهای اصلی که روی اقتصاد پروژه تاثیر دارند به شرح زیر می‌باشند:

هزینه‌های نصب – حفاظت – ساختار نسبی- هزینه‌های سوخت – درآمدها – توانایی اضافی. کمک‌هزینه‌هایی برای ایجاد یا افزایش ظرفیت هزینه‌ها و در آمد ها یا ارزش موجود شبکه 2 عامل مهم برای قضاوت در مورد اقتصاد پروژه می‌باشد.

در امدها یا محاسبه ارزش موجود شبکه راه دیگری است که تعیین میکند چه مقدار از عمر تجهیزات یا توربین ذخیره شده است. کاهش درجه‌حرارت هوای دهانه ورودی CT باعث بهبود میزان گرما میگرددااگر چه یک بهبود شبکه‌ای در نسبت گرما وجود دارد که به نوع توربین – نوع کارکرد در سیکل های ساده یا ترکیبی ، درجه خنک‌کننده و مقدار مصرف برق توسط سیستم خنک‌کننده دهانه ورودی مربوط می‌باشد. برای اکثریت کار توربین‌های گاز در شکل چرخشی ساده پیشرفتی در میزان گرما وجود دارد.

برای واحدهای سیکل ترکیبی بهبود در میزان گرما معمولاً توسط میزان مصرف انرژی برای فعالیت سیستم انجام می‌شود. بهبود در میزان گرما کاهش سطوح نامطلوب خروج گرما می‌شود بنابراین مهم است که نسبت گرما را در معیار ارزیابی اقتصادی اندازه‌گیری کنیم. در واحدهای سیکل ترکیبی با سیستم خنک‌کننده هوای دهانه ورودی CT افزایش در میزان

تولید بخار رخ میدهد.اگرچه درجه حرارت گازهـای خروجـی تـوربین کـاهش مـی یابـد و جـرم جریانات هوایی و کل انرژی خروجی در HRSG افزایش می یابد.که نتیجتا منجر بـه افـزایش تولید بخار می گردد.این افزایش باید برای ارزیابی اقتصادی بطور دقیق مورد محاسبه قرار گیـرد اگر یک مجرای احتراق در HRSG برای افزایش تولید بخار استفاده شود انگاه انـرژی خروجـی توربین افزایش یافته و باعث مصرف کم سـوخت در تجهیـزات بخـار میگـردد.صـرفه جـویی در مجرای احتراق باید مهم باشد و به این دلیل باید محاسبه گردد.

کم کردن فشار هوا از طریق سیملوله های خنک‌کننده معیار ارزیابی اقتصادی دیگـری است که حائز اهمیت می‌باشد. سیملوله ها فشار اندکی را دارنـد حتـی زمـانی کـه سیسـتم کـار نمی‌کند در نتیجه منجر به کاهش در خروجی توربین در زمستان هنگامی که دیگر احتیاجی به سیستم خنک‌کننده نمیباشد میشوند. به هر حال این کاهش کمتر است زیرا سیملوله هـا بـرای کاهش فشار تا میزان 25 mm یا کمتر طراحی شده‌اند. برای ارزیابی نهایی معقول آن است که میانگین تعداد ساعاتی را که سیستم در حال کار در شرایط طراحی میباشـد را بـرای محاسـبه مگاوات‌های اضافی بهینه در نظر بگیریم.

یک آنالیز دقیق به گزارش سالیانه از درجـه حـرارت (سـاعت بـه سـاعت) بـرای تعیـین صحیح درآمدهای اضافه نیاز دارد. به عبارت دیگر سطح خنک‌کنندگی در شرایط ذخیره کم هـوا کاهش می‌یابد و بنابراین میزان مصرف انرژی برای سیستم خنک‌کننده ممکن است کمتر از زمان شرایط طراحی گردد. در چنین مواردی خروجی شبکه بالاتر از موارد طراحی است. برای مثال اگر شرایط طراحی برای درجه حرارت بخار اشباع/خشک T در نظر گرفتـه شـود کـه برابـر 23،3 /31،7 و درجه حرارت هوای دهانه ورودی در یک عملکرد پیوسته 7/2° می‌باشد.

میزان مصرف انرژی برای 2500 LM، 1500 Kw می‌باشد. به هر حال در شرایط محیطی 15/6C̊ با میزان RH = 100% مصرف انرژی تنها 665 Kw می‌باشد که منجر به افزایش خروجی انرژی شبکه می‌شود.

بعلاوه این گین اضافی در خروجی شبکه مربوط به خنک سازی هوای دهانه ورودی نمی باشد اما بدلیل شرایط محیطی خنک‌تر از نقطه طراحی میباشد.

مبدل گرمایی

خنک‌کننده هوای دهانه ورودی توربین توسط انتقال گرما به دستگاه خنک‌کننده آب سرد یا دستگاه انتقال گرما از طریق سیم لوله های خنک‌کننده بدست می‌آید.

سیملوله‌های خنک‌کننده و ساختار دهانه ورودی

معیار طراحی برای سیملوله‌های خنک‌کننده شامل سطح خنک‌کننده، کاهش فشار هوای داخل، نیازهای فضاو سرعت جریان هوای عبوری از سیملوله هامیباشد. از آنجاییکه هوا عموماً تا زیرصفر درجه سرد می‌شودبنابراین بخارآب هوای ورودی متراکم میشود. برای سرعت‌های بالاتر جریانات هوایی امکان انتقال آب اضافی به کمپرسور وجود دارد و بایستی توسط بکارگیری کلیه وسیله ها از این عمل جلوگیری شود. نگهداشتن سرعت هوا در سیم لوله ها به زیر 152m/min به منظور جلوگیری از انتقال آب اضافی مهم میباشد. اگر میزان،سرعت این نیاز را افزایش دهد وسایل دیگری همچون مه پاشها به منظور جابجایی قطرات ریز آب ممکن است بکار گرفته شوند.

سیم‌پیچ‌های خنک‌کننده به عنوان یک retrofit در دستگاههای کنونی یا به عنوان بخشی از ساختار طرح نهایی دهانه ورودی هوا قرار می‌گیرند. در موارد بعدی هزینه تغییرات ساختار دهانه ورودی هوا می‌تواند پس‌انداز شود. برخی از اقدامات به منظور تامین فضای مناسب

برای سیملوله ها در ساختار دهانه ورودی هوا با هدف نصب سیملوله های خنک‌کننده و سیستم خنک‌کننده در زمان های بعد یا به منظور جایگزینی media نوع تبخیری با سیملوله ها ترجیح داده میشوند. ساختار ورودی هوا می‌تواند تنها یک جهته – 2 جهته یا 3 جهته باشد. فاکتورهایی که روی طراحی مجرای دهانه ورودی هوا اثر گذارند به موارد همچون جهت سیم لوله ها، میزان کاهش فشار با در نظر گرفتن از مقاومت سیم‌پیچ‌ها و اثرات باد، سرعت برخورد با سیم‌پیچ‌ها برای جلوگیری از انتقال آب اضافی، وزن سیم‌پیچ‌ها، نیاز به فیلتراسیون ، محافظت و نگهداری (از سیملوله ها و سر شیر ها)، نصب کانال،فضای در دسترس و قابل حرکت و زدودن و کم کردن تراکم و جرم از سیملوله ها نیازمند هستند.

تجمع تراکم در ته سیم‌پیچ‌ها با توجه به ظرفیت خنک سازی در نظر گرفته شده و می‌تواند در کندانسور، ساختمان‌ها و برای دیگر اهداف خنک‌سازی استفاده شود یک مثال برای جریان هوایی 252Kg/sec در شرایط محیطی 30℃ با 50٪ رطوبت نسبی وقتی تا 10 درجه سانتیگراد خنک شود بطور تقریبی با یک سیستم خنکسازی که ظرفیت آن 16 تن میباشد تراکم با میزان 15/9 متر مکعب بر ساعت زدوده و جمع آوریمی‌شود.

شکل 4

شکل 5 – اتاق فیلتر دهانه ورودی برای Frame 7EA

شکل 6 - اتاق فیلتر دهانه ورودی برای ABB IINI

سیملوله هایی که دارای خاصیت ضدیخ زدگی هستند

هوای دهانه ورودی اغلب در آب و هوای سرد به منظور جلوگیری از یخ زدن در طبقه اول کمپرسور گرم می‌شود و یخ زدگی باعث ایجاد ویبراسیون و لرزه های شدید و همچنین ایجاد استرس و فشار در تیغه های کمپرسور میگردد. درجه هوا بالای 4/4C با RH = ٪70 یا کمتر از ایجاد یخ زدگی جلوگیری می‌کند.عملکرد برخی از این مشتقات و عوامل هوایی (همچون استرس ،فشار، لرزه و...) در برخی از درجه های حرارتی به حداکثر می‌رسد. افزایش درجه حرارت هوا زمانی که آن زیر مقدار اپتیمم است از کاهش ظرفیت توربین جلوگیری میکند علاوه بر آنکه از شکل‌گیری و ایجاد یخ نیز جلوگیری می‌کند.

این نظریه زمانی میتواند ایده آل باشد که همان سیملوله ها برای گرماسازی همانند خنک‌سازی استفاده شوند . به طور طبیعی سطح گرما سازی 1/6 سطح خنک سازی میباشد بنابراین گرماسازی به سطح کمتری نسبت به خنک‌سازی نیاز دارد. برای نیل به این هدف یک

احتمال وجود دارد و آن استفاده از دو سر سیملوله برای دهانه ورودی همچون دهانه خروجی می باشد تا انتقال نسبی از سطوح در حالت گرماسازی ایجاد گـردد. بایـد در انتخـاب نـوع دسـتگاه خنک‌کننده مراقب بود وقتی که سیملوله های استفاده شده برای گرماسازی و سرماسازی یکسان باشند. برای مثال از روش خنکسازی مستقیم بایستی اجتناب نمود هنگامیکه از همان سـیملوله ها برای گرماسازی نیز استفاده میشود تا از هرگونه احتمال مخلوط شدن آب و بخار با آمونیـاک جلوگیری شود. که بستگی به چگونگی دو مجموعه جداگانه از سـیملوله هـا بـرای گرماسـازی و خنکسازی دارد که به مراتب پرهزینه تر از یک مجموعه از سیملوله ها میباشند.

مثال‌ها

در ادامه مثالهایی از دستگاههای واقعی که در انواع مختلف در سیستم‌های خنک سازی هوای دهانه ورودی به طور موفقیت‌آمیز به کار گرفته شده اند ارایه می‌شود.

خنک‌سازی پیوسته

سیسـتم خنـک‌سـازی کـه از آخـرین تکنولـوژی چیلـر تشـکیل شـده از مـایع مبـرد (خنکساز)غیر مضر بـه لایـه ازن R 134a بـا تکنولـوژی چیلـر Camdengogen US در نیوجرسی نصب میگردد یک چیلر 2000 تنی برای رسیدن به یک طراحی پیشرفته و همچنـین افزایش ظرفیت شبکه ای توربین با قدرت 7 MW نصب شد و محلول اتیلن گلیکـل 35٪ بـه عنوان مایع خنک ساز در سیملوله های خنک کننده اتاق فیلتر به چرخش در می آید.

ذخیره انرژی حرارتی

سیستم ذخیره انرژی حرارتی از یخ برای خنکسازی هوای دهانه ورودی در دوره پیک در کان کورد و پاریس استفاده می‌کند. هر منطقه کاری از 4 توربین که با سیکل ساده کار میکنند تشکیل شده است. سیتم خنک‌کننده هم اکنون در حال ساخت میباشد. دوره پیک 4 ساعت در روز برای 5 روز در هفته می‌باشد. یخ در طول ساعت‌های غیر پیک(non peak) ایجاد می‌شود و در دو مخزن ذخیره می‌شود. سیستم خنک‌ساز از کمپرسورهای نوع screw یا پیچی و متراکم کننده های نوع تبخیری و صفحه جمع آوری یخ استفاده میکند. آمونیاک برای خنک‌سازی استفاده می‌شود، آب خنک از طریق ته مخزن برای خنک‌کردن دهانه هوای ورودی در طول ساعات پیک بکار گرفته می‌شود. گین مورد انتظار شبکه در خروجی برای هر توربین 18/ 25MW می‌باشد.

خنک‌ساز تبخیری

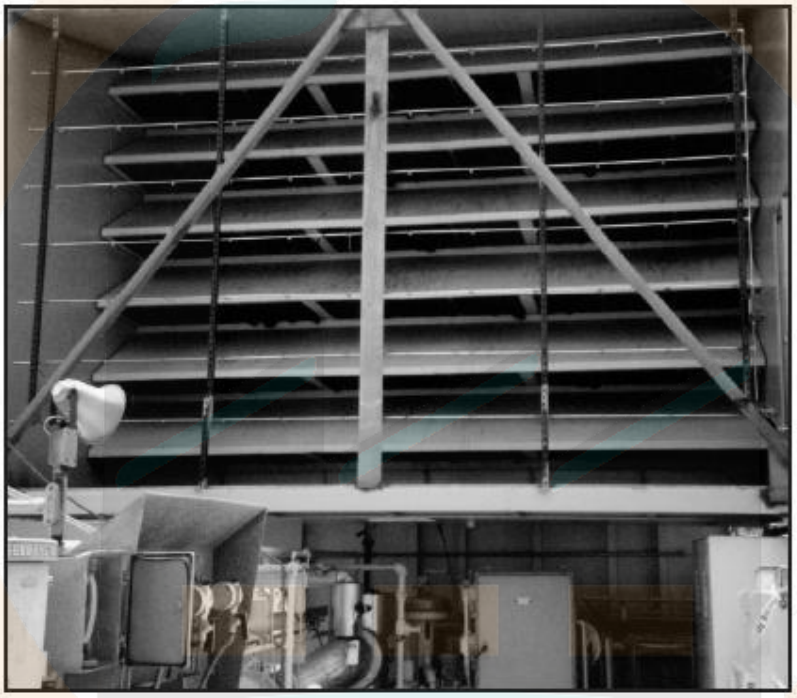
توربین توسط پاور فلوریدا ولایت در مکان کاری putnam در پالاتاکامی‌فلوریدا ایجاد شد. هوای دهانه ورودی توسط اسپری کردن آب کانی زدایی شده به شکل مه ریز در بخار هوا خنک می‌شود. مه توسط نازل(nozzle)با میزان باز شدن یکهزارم اینچ ایجاد می‌شود همانگونه که بخار اسپری شده در رطوبت هوا جذب می‌شود درجه حرارت هوا کاهش می‌یابد زیرا گرمای نهان به تبخیر آب نیاز دارد.

نتیجه

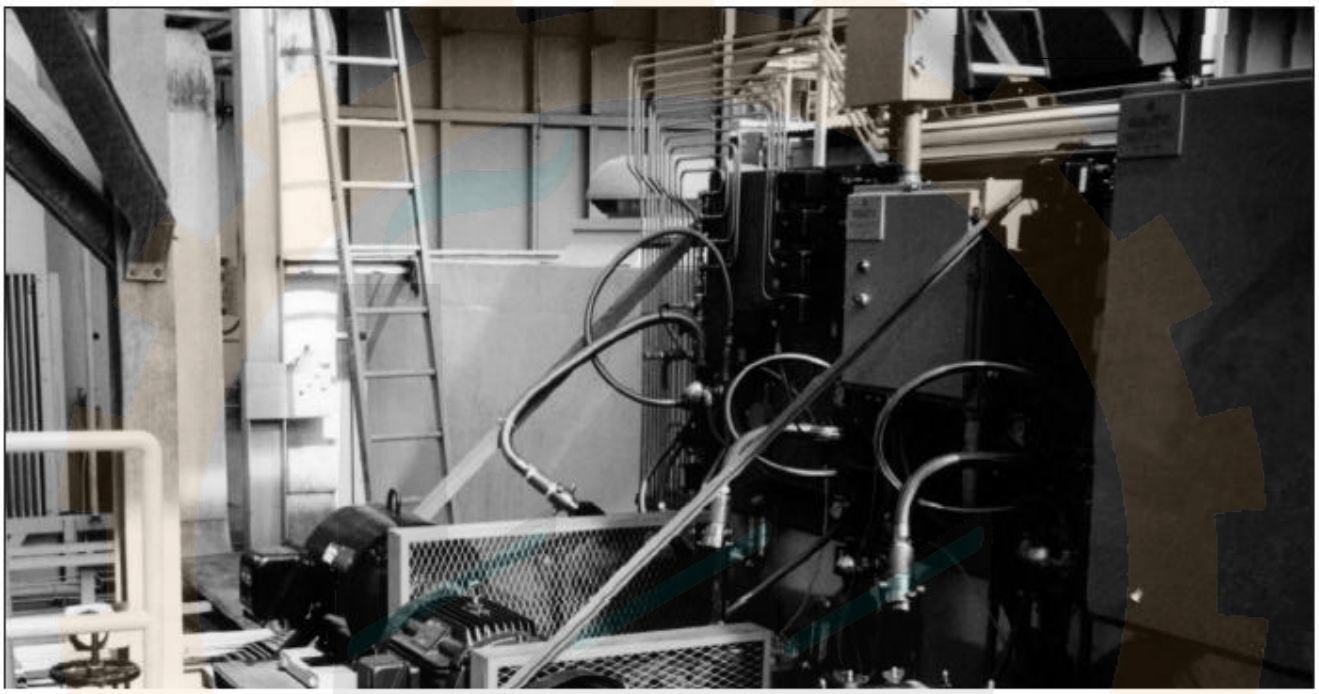
با کاهش درجه حرارت هوا در مدخل توربین احتراق ظرفیت هر بخش به طور شگفت‌انگیزی افزایش یافت و وابستگی خروجی توربین در شرایط هوای محیط به طور مشخصی کاهش می یابد چندین نوع سیستم خنک‌کننده وجود دارد.

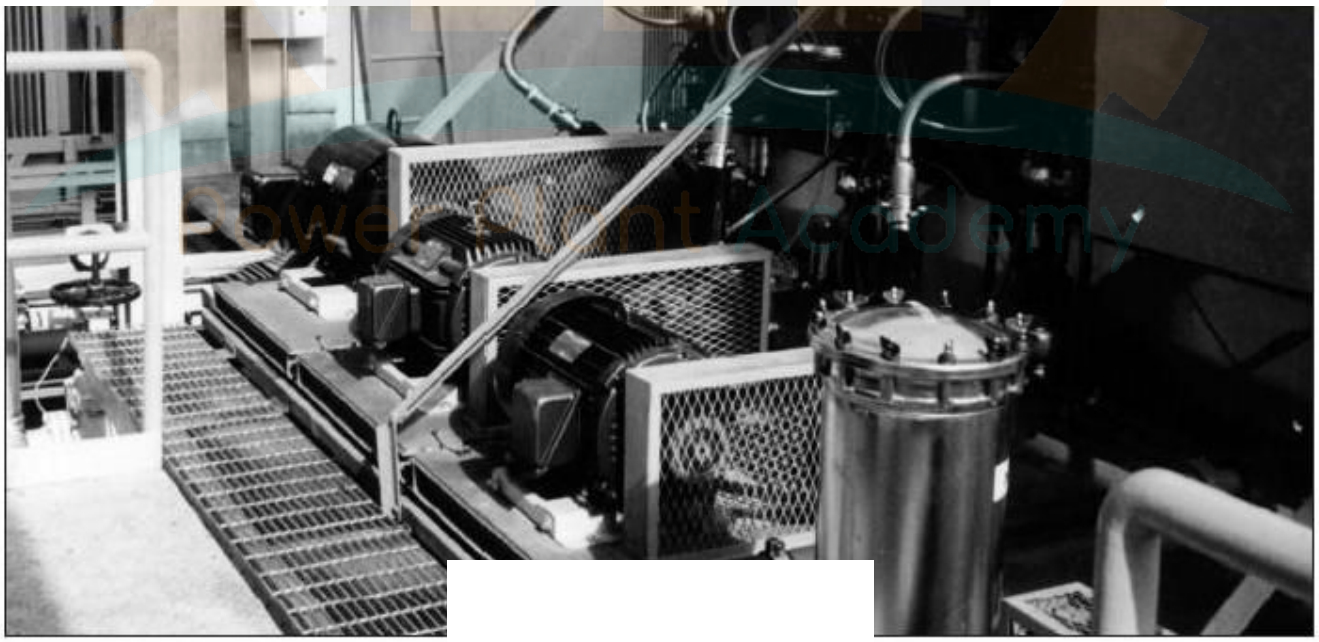
سیستم خنک‌کننده تبخیری، سیستم خنک‌کننده پیوسته و ذخیره انرژی حرارتی.

کاربرد ثابت یک سیستم خاص به نیاز خریدار وابسته است . ارزیابی اقتصادی به انتخـاب نـوع و اندازه سیستم خنک کننده نیازمنداست.



شکل 7





www.powerplantac.com

جدول تبدیل واحدها

در این صفحه جدول تبدیل واحدهای رایج در مبحث توربین گازی آورده شده است.

To Convert	To	Multiply By	To Convert	To	Multiply By
Acres	hectares	4.047×10^{0}	Hp (U.S.)	hp(metric)	1.014
Atm	kg/cm^2	1.0333	In.	cm	2.540
Atm	$1b/in.^2$	1.47×10^{0}	In.	mm	2.54×10^{0}
Bars	atm	9.869×10^{-1}	$In.^2$	mm^2	6.452×10^{2}
Bars	1b/in.*	1.45×10^{1}	In. of mercury	Kg/cm^2	3.453×10^{-2}
Btu	J(joules)	1.055×10^{3}	In.of water		
Btu	kcal	2.52×10^{-1}	(at 4 $^{\circ}C$)	Kg/cm^2	2.54×10^{-3}
Btu/h	kcal/h	2.520×10^{-1}	In.of water		
Btu/h	kJ/h	1.0548	(at 4 $^{\circ}C$)	$Ib/in.^2$	3.613×10^{-2}
Btu/h	W(watts)	2.931×10^{0}			
Btu/h-p-h	kcal/kwh	3.379×10^{0}	J	Btu	9.486×10^{-4}
Btu/h-p-h	kJ/kwh	1.4148	Kg	1b	2.2046
Btu/kwh	kcal/kwh	2.5198×10^{-1}	Kg/cm2	1b/in.*	1.422×10^{0}
Btu/kwh	kJ/kwh	1.0548	Kg-m	Ft-1b	7.233
Btu/1b	kcal/kg	5.555×10^{0}	Kg/m3	$1b/ ft^3$	6.243×10^{-2}
Btu/1b	kJ/kg	2.3256	Km	Miles (statute)	6.214×10^{0}
$^{\circ}C$	$^{\circ}F$	($^{\circ}C$ x 915)+32	Kw	Hp	1.341
$^{\circ}C$	K	$^{\circ}C$ +273.18	I	Ft^3	3.531×10^{-2}
Cm^3	ft^3	3.531×10^{-5}	Ib	Kg	4.536×10^{0}
Cm^3	$in.^3$	6.102×10^{-2}	Ib/in.2	Kg/cm^2	7.03×10^{-2}

$^{\circ}F$	$^{\circ}C$	(f-32) x 5/9	Ib/in.*	Pa	6.8948 x 10^{3}
Ft	m	3.048 x 10^{o}	Ib-ft2	Kg-m2	4.214 x 10^{-1}
Ft^2	m^2	9.29 x 10^{-2}	I/min	Ft^3/s	5.886 x 10^{-4}
Ft^3	1(liters)	2.832 x 10^{o}	I/min	Galls	4.403 x 10^{-3}
Ft^3	m^3	2.832 x 10^{-2}	M	Ft	3.281
Ft-1b	Btu	1.286 x 10^{-3}	M2	Ft^2	1.076 x 10^{o}
Ft-1b	Kg-m	1.383 x 10^{-1}	M3	Ft^3	3.531 x 10^{o}
Ft/min	Km/h	1.8288 x 10^{-2}	Mile (Statute)	Km	1.6093
Ft^3/min	1/s	4.720 x 10^{-1}	Tons (metric)	Kg	1.0 x 10^{3}
Ft^3/min	m^3/min	2.832 x 10^{-2}	Tons(metric)	1 b	2.205 x 10^{3}
Gal	m^3	3.785 x 10^{-3}	W	Btu/h	3.4129
Gal/min	1/s	6.308 x 10^{-2}	W	Btu/ min	5.688 x 10^{-2}
Hectares	acres	2.471	W	Ft-1 b/ s	7.378 x 10^{-1}
Hp(U.S.)	kw	7.457 x 10^{o}	W	Hp	1.341 x 10^{-3}

Power Plant Academy