

آشنایی با ایستگاه های تقویت فشار انتقال گاز



آموزش و تجهیز نیروی انسانی شرکت ملی گاز ایران



آشنایی با ایستگاه های تقویت فشار انتقال گاز

تهیه و تنظیم : مهندس حسین کاردری
صفحه آرایی و ویرایش : مهندس فرید بن سعید



عنوان کتاب : آشنایی با ایستگاه های تقویت فشار انتقال گاز

تهیه و تنظیم : مهندس حسین کردری

ویرایش و صفحه آرایی : مهندس فرید بن سعید

چاپ : اول بهار ۱۳۸۷

تعداد : ۵۰۰ نسخه

ناشر : انتشارات شرکت ملی گاز ایران آموزش و تجهیز نیروی انسانی

کلیه حقوق برای ناشر محفوظ می باشد .

تهران میدان هفت تیر - خ مفتاح جنوبی - خ شیروودی - پلاک ۸ آموزش و

تجهیز نیروی انسانی - آموزش فنی و تخصصی

تلفن تماس : ۴ - ۸۱۳۴۵۷۲۰ - ۰۲۱ - - - - - نمابر : ۸۱۳۱۵۷۴۴ - ۰۲۱

فهرست مطالب

پیشگفتار

مقدمه

۲

فصل اول: آشنایی با ایستگاه

۹

اتصال ایستگاه با خط سراسری

۱۰

ساختمان های ایستگاه

۱۱

اتاق کنترل

۱۱

اتاق برق فشار قوی و ضعیف

۱۳

مرکز تقلیل فشار

۱۴

محوطه Pig luncher & receiver

۱۴

قسمت تخلیه گاز

۱۴

ستون های برقگیر

۱۴

فصل دوم: فرایند

۱۷

ارتباط خطوط سراسری انتقال گاز با ایستگاههای تقویت فشار

۱۸

تعویض خطوط

۱۸

فرایند

۱۹

تخلیه هوا و گاز دار کردن لوله ها

۲۲

فصل سوم: تجهیزات جانبی ایستگاه

۲۴

ایستگاه تقویت فشار

۲۵

اجزای اصلی ایستگاه

۲۶

توربو کمپرسورها

۲۸

خنک کننده های گاز

۳۰

اجزای کمکی ایستگاه

۳۲

سیستم هوای ابزار دقیق

۲۵

۳۴	مرکز تقلیل فشار
۳۷	سیستم گرم کننده گاز
۳۹	برق ایستگاه
۳۸	شبکه تخلیه هیدروکربن های مایع

۴۸ فصل چهارم: توربین

۴۹	<u>توربین</u>
۵۲	<u>مبانی اولیه توربین گاز</u>
۵۴	اصول عملکرد توربین گاز
۵۷	ساختار توربین گاز
۶۰	توربین های گازی در ایستگاههای تقویت فشار
۶۲	کمپرسور هوای توربین گاز
۶۴	سیستم گاز سوخت توربین
۶۸	سیستم احتراق با خاصیت نشر امواج در سطح پایین تر
۶۹	توربین گاز
۷۵	سیستم روانکاری و روغنکاری
۷۹	سیستم تهویه
۸۱	سیستم هوای آب بندی و خنک کاری
۸۱	هوای اگزوز

۸۴ فصل پنجم: کمپرسورها

۸۵	انواع کمپرسورها
۸۶	مکانیزم های ایجاد فشار در انواع کمپرسور
۸۸	کمپرسور سانتریفوژ
۱۰۱	کمپرسورهای گاز ایستگاه و اجزای آن
۱۰۹	سیستم روغنکاری
۱۱۰	پدیده سرج
۱۱۵	فصل ششم: سیستم های حفاظتی
۱۱۶	سیستم های گازیاب و آتش یاب
۱۱۷	عملکرد سیستم
۱۱۹	سیستم اطفاء حریق
۱۲۰	<u>اجزای سیستم</u>
۱۲۱	تشخیص دهنده های حرارت

فصل هفتم: کنترل و بهره برداری

۱۲۵

۱۲۶

کنترل و بهره برداری

۱۲۷

کنترل توربوکمپرسورها

۱۲۸

راه اندازی و توقف توربین

۱۳۲

تدابیر عمومی ایمنی در ایستگاهها

۱۳۳

نکات ایمنی در کار با توربوکمپرسورها

آموزش نیروی انسانی، همواره از ارکان توسعه در فن آوری نوین بوده و عدم توجه صحیح و لازم در این زمینه، خسارت و زیان های بسیاری را بوجود آورده است. هزینه این آموزش نیز در مقابل هزینه های هنگفت خسارات ناشی از عدم آگاهی و تسلط نیروها به کار، ناچیز و قابل اغماض است. کتابی که در پیش و روست، ایستگاههای تقویت فشار گاز را مورد بررسی قرار می دهد. تهیه و جمع آوری این متن بگونه ای صورت گرفته که طی آن افرادی که هنوز از نزدیک با ایستگاهها و بطور کلی فرایند انتقال گاز آشنایی ندارند، با این مقوله آشنا شده و اطلاعات اولیه جهت بهره برداری از ایستگاهها را کسب نمایند. هرچند سعی شده تا اطلاعات مختص یک ایستگاه و تجهیزات مربوطه نبوده و برای هر نوع ایستگاه و توربین گاز مربوط به آن منطبق باشد ولی به دلیل تنوع توربوکمپرسورهای موجود در ایستگاههای تقویت فشار گاز کشور، مطالب این کتاب، با محوریت توربوکمپرسورهای NUOVOPIGNONE و ALSTOM ارائه گردیده است. بدیهی است ایستگاههای مختلف کشور و بهره برداری از آن ها با اندکی اغماض، همگی با هم مشابهند. این کتاب در ۷ فصل و مقدمه تهیه و تنظیم گردیده است که به ترتیب به شرح موارد ذیل می پردازد.

در مقدمه، به تاریخچه و نحوه شکل گیری گاز، دلایل انتقال گاز و موقعیت و تعدد ایستگاهها و پالایشگاههای کشور پرداخته است. فصل اول این مجموعه به آشنایی دادن خواننده محترم، نسبت به ایستگاه تقویت فشار گاز از نقطه نظر کمی پرداخته و کسانی را که آشنایی اندکی با ایستگاهها دارند را با کم و کیف آن آشنا خواهد نمود. این بخش به معرفی محوطه ایستگاه، ساختمانها و اتاقهای مختلف آن خواهد پرداخت و خواننده با مراکزی چون اتاق کنترل، اتاق برق فشار قوی، مرکز کنترل موتورها، اتاق باتریها و ... آشنا می گردد. در فصل دوم، مسیر ورود گاز، از ورودی آن به ایستگاه تا نقطه خروج آن بررسی خواهد شد. در این فصل تمامی دستگاههایی که نقشی در فرایند پروسه افزایش فشار و انتقال آن دارند و با گاز در ارتباطند، معرفی می گردند.

فصل سوم این گزارش به بحث و بررسی تمامی تجهیزات جانبی ایستگاه که مربوط به پروسه بوده و در فصل قبل معرفی شده بودند اعم از تجهیزات اصلی و یا کمکی، می پردازد و خوانندگان محترم در این بخش با نحوه کارکرد دستگاههای مرتبط با فرایند انتقال گاز، آشنا می شوند. آشنایی با توربین گاز و اجزا و تجهیزات آن به همراه وظایف بهره بردار در قبال آن، در فصل چهارم آمده است. در این فصل تمامی تجهیزات توربین گاز به همراه نحوه عملکرد آنها توضیح داده شده است. فصل پنجم نیز به بحث و بررسی انواع کمپرسورها و نحوه عملکرد آنها و نوع مخصوصی از آنها در امر متراکم نمودن گاز در ایستگاههای تقویت فشار، همراه با نحوه عملکرد هر یک از تجهیزات جانبی آن از نظر تان خواهد گذشت.

سیستم های حفاظتی ایستگاه در مواجهه با انواع خطرات احتمالی نظیر آتش سوزی و انفجار در فصل ششم آمده است. و بالاخره در فصل هفتم نحوه کنترل و بهره برداری از توربوکمپرسور و ایستگاه و نحوه تحلیل خط سراسری و شیوه تصمیم گیری مناسب در برخورد با انواع حالات ممکن در بهره برداری شرح داده خواهد شد. بدیهی است این مجموعه فصل، همانند هر نوشته ای خالی از عیب و ایراد و اشتباه نیست لذا خواهشمند است، خواننده محترم مراتب پوزش نگارنده را در مورد ایرادات احتمالی پذیرفته و در جهت رفع نقایص آن، اینجانب را یاری دهد. لازم به ذکر است که قسمت عمده متن حاضر، صرفا جمع آوری مطالب و دسته بندی و ویرایش آنها از مجموعه گزارشات دوستان و همکاران محترم می باشد، لذا بر خود واجب می دانم از همکاری صمیمانه دوستان عزیزم آقایان مهندس محمد حسن منصوری، کامران ایزدبخش و محسن جعفری ایوب که در جمع آوری این محتوی نقش بسزایی داشتند و گزارش پایان کارآموزی مشترک آقایان مهندس علی چیت ساز، ابراهیم سلطان محمدی، احسان مقدس شیروانی،

حسین کریمی ، سعید صفر پور عسگری که از آن نیز استفاده نمودم تشکر و قدردانی
نمایم. در پایان ضمن تشکر ویژه از کلیه کارکنان زحمتکش منطقه ۲ عملیات انتقال گاز و
بخصوص مجتمع ایستگاههای تقویت فشار گاز دوراهان که در این مدت از یاری آنان ،
بهره های فراوان برده ام ، و جناب آقای سید محمود حسینی پژوه رئیس محترم آموزش و
تجهیز نیروی انسانی. مهندس خلیل قنادی رئیس محترم آموزش فنی و تخصصی و
همچنین مهندس جواد دانشیار که در تهیه و تدوین کتاب اینجانب را یاری نمودند کمال
تشکر را دارم ، امیدوارم مجموعه فوق ، برای خوانندگان محترم مفید واقع گردد.
با تشکر حسین کاردی ۱۳۸۷/۰۳/۱



تاریخچه نفت و گاز

همچنانکه می دانیم رشد تقاضا جهت مصرف انرژی در هر کشور تابعی از سطح زندگی و رفاه عمومی مردم و تجهیزات و امکانات موجود جهت تولید و رفع نیازهای آنان می باشد. امروزه ۷۵ درصد انرژی مورد نیاز جهان از نفت و گاز تامین می شود. در نتیجه، مصرف روز افزون انرژی و در نتیجه رشد تقاضای آن از یک سو و رو به پایان بودن منابع نفتی در آینده ای نزدیک از سمتی دیگر و با عنایت به جایگاه ایران در بین کشورهای دارای منابع غنی گاز طبیعی، اهمیت این صنعت رو به رشد، بیشتر نمایان می گردد. ایران با داشتن ۲۸ تریلیون متر مکعب، تقریباً معادل ۱۸ درصد ذخایر ثابت شده گاز جهان را در اختیار دارد و به عنوان دومین کشور بزرگ دارنده گاز طبیعی مطرح است. در این میان روسیه با داشتن ۳۰ درصد، اولین کشور و پس از ایران نیز کشورهای قطر با ۹ درصد، امارات ۴ درصد و عربستان سعودی با ۳/۷ درصد و ... قرار دارند.

تشکیل نفت و گاز

در برخی کتب قدیمی، نشأت گاز طبیعی از زمین، البته بدون دانستن ماهیت آن آمده است. گواه این مشاهدات، شعله ور شدن گاز بیرون آمده از زمین، توسط رعد و برق می باشد که سبب ترس و البته تعجب فراوان مشاهده کنندگان بوده و طبیعتاً با خرافات همراه می شده است. آتش جاویدان باکو در سواحل دریای مازندران و شعله های آتش درون زمین در کوه پاراناسوس، سالها قبل از میلاد مسیح از مصادیق بارز این مشاهدات است. اگر چه در تاریخ، استفاده از این سوخت، جهت تقطیر آب دریا در چین نیز آمده است ولی گاز طبیعی در مقیاس صنعتی اولین بار در اواخر قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم میلادی در امریکا مورد استفاده قرار گرفت. نفت، گاز و ذغال سنگ، قسمت عمده ای از نیازهای انرژی بشر را از زمانهای گذشته تا کنون تامین نموده اند. از آنجاییکه این مواد از باقی مانده فسیل جانوران و گیاهان بوجود آمده اند به آنها سوخته های فسیلی گویند. این مساله طی میلیونها سال پس از اینکه بقایای جانوران و گیاهان به اعماق اقیانوسها رانده شد، بتدریج تجزیه شده و بصورت عناصر آلی در آمده و بر اثر فشار و گرمای درونی زمین به نفت و گاز تبدیل شده و در مخازن زیر زمینی، در عمق سه تا چهار هزار متری و با فشار چند صد متری ذخیره می گردند. برای اکتشاف گاز از دریا، از انفجار هوای فشرده استفاده می شود. امواج این انفجار به بستر دریا رسیده و متخصصان از طریق دریافت انعکاس این امواج، پی به وجود مخازن نفت و گاز می برند. البته بهترین روشهای اکتشاف نیز، صرفاً احتمال وجود نفت و گاز را به ما نشان می دهد، بنابراین مطمئن ترین راه برای اطمینان از وجود نفت و گاز حفاری است.

نفت و گاز در لایه های زیرین زمین تشکیل شده و مقداری از آن در نتیجه حرکت در لایه های سنگی از بین می رود و صرفاً قسمتی از آن که در میان برخی لایه های مخصوص، محبوس شده اند قابل استفاده اند. به این لایه های حاوی نفت و گاز میدان گاز و نفت گویند. امروزه نفت و گاز نقش مهم و انکار ناپذیری در تامین انرژی جهان دارند. با توجه به محدود بودن منابع نفتی و مزایای متعدد سوخت گازی، نقش گاز پر رنگ تر گردیده به طوری که منابع گازی جای خود را در جهان، به عنوان یکی از منابع اصلی تامین انرژی، بیش از پیش باز نموده است. شرکت ملی گاز ایران نیز در سال ۱۳۴۴ تاسیس و اولین خط لوله سراسری به قطرهای ۴۲" و ۴۰" در سال ۱۳۴۹ شمسی جهت انتقال گاز ایران به کشور شوروی سابق از پالایشگاه بیدبلند تا آستارا

کشیده شد و هزینه این لوله کشی و ایستگاههای تقویت فشار روی آن به همراه هزینه احداث کارخانه های ذوب آهن اصفهان و ماشین سازی اراک توسط صادرات گاز به این کشور پرداخت گردید.

انتقال گاز

سولفید هیدروژن و دی اکسید کربن به علت دارا بودن خواص خوردندگی، شن و ماسه، آب شور و نیتروژن از ارزش حرارتی گاز می کاهند. بنابراین جهت افزایش ارزش حرارتی گاز، پالایشگاهها وظیفه تصفیه این ناخالصیها را بهعهده دارند. گاز پس از پالایش و تصفیه، از طریق خطوط انتقال، به محل مصرف هدایت می شود. می دانیم که گاز برای حرکت از نقطه ای به نقطه دیگر به اختلاف فشار نیاز دارد. یعنی گاز از نقطه با فشار بیشتر به نقطه با فشار کمتر خواهد رفت. البته گاز پس از استخراج دارای فشار بالایی، گاه تا 1300 psi می باشد ولی در طی مسیر خود، باید از مناطق کوهستانی و پستی و بلندیهای زیادی عبور کند و البته عبور از این مناطق نیازمند غلبه بر عواملی همچون افزایش ارتفاع، اصطکاک گاز درون لوله و اتصالات مربوطه می باشد. طبق قانون برنولی و با در نظر گرفتن گاز طبیعی بعنوان گاز کامل، خواهیم داشت: کاهش فشار بین دو نقطه متناسب است با مجموع تغییرات سرعت، ارتفاع و افت فشار ناشی از اصطکاک گاز با خط لوله و اتصالات مربوطه. علاوه بر این انشعابات و مصارفی که در طول مسیر از خطوط لوله سراسری گرفته می شود باعث افت فشار می شود. ایستگاههای تقویت فشار گاز همچنانکه از نامشان پیداست، این افت فشارها را در طول مسیر جبران خواهند نمود. در ضمن گاز ماده ای تراکم پذیر بوده و می توان با افزایش فشار حجم آن را کاهش داد و در نتیجه حجم بیشتری از گاز را در شرایط استاندارد انتقال داد. فشار خطوط سراسری بسیار بالا بوده (حدود 1000 psi) و نیاز است تا جهت مصرف کننده های خانگی این فشار شکسته شود بنابراین در مبادی ورودی شهرها، مراکز تقویت فشاری وجود دارند که این فشار را کاهش دهند این کاهش فشار تا ورودی منازل ادامه دارد و در نهایت به حدود 1/4 psi می رسد. محل احداث ایستگاهها بر اساس پارامترهای مختلفی تعیین می گردد ولی بطور متوسط در هر ۱۰۰ کیلومتر یک ایستگاه روی هر خط ساخته می شود.

جدول ۱: مشخصات پالایشگاههای گاز کشور

پالایشگاه	ظرفیت گاز طبیعی (MMSCM/D)*	تولید	مکان	توضیحات
بیدبلند ۱	۲۲,۵		واقع در استان خوزستان در ۲۴ کیلومتری غرب بهبهان	جهت پالایش گاز میدان گازی آغاچاری و تغذیه خط اول سراسری
بیدبلند ۲ (در حال ساخت)	۵۷		واقع در استان خوزستان در ۱۵ کیلومتری جنوب غرب بهبهان	به منظور پالایش گازهای حوزه پازنان، گچساران و بی بی حکیمه
مسجد سلیمان	۱		مسجد سلیمان	به منظور پالایش گاز همراه میدان نفت سفید

فجر	۱۱۰	در ۳۱۰ کیلومتری جنوب شرقی بندر بوشهر	به منظور پالایش گازهای میدانهای گازی نار وکنگان و تغذیه خط دوم سراسری
پارسیان ۱	۵۵	جنوب استان فارس- شهرستان مهر	به منظور پالایش حوزه گازی تابناک که بزرگترین حوزه گازی شیرین کشور است.
پارسیان ۲	۴۱	جنوب استان فارس- شهرستان مهر	حوزههای دریافت گاز آن شانول، هما و وراوی می باشد.
خانگیران (شهید هاشمی نژاد)	۴۴,۵	استان خراسان در ۳۵ کیلومتری جنوب غربی سرخس	به منظور پالایش گاز ترش مخزن گازی مزدوران
واحد نم زدایی شوریجه (جمالی نیا)	۲,۳	استان خراسان در ۳۵ کیلومتری جنوب غربی سرخس	به منظور تفکیک و نم زدایی گاز طبیعی مخزن شوریجه
واحد نم زدایی گنبدلی	۸,۵	استان خراسان در ۳۵ کیلومتری جنوب غربی سرخس	به منظور تفکیک و نم زدایی گاز طبیعی مخزن گنبدلی
سرخون	۱۵	استان هرمزگان- ۲۵ کیلومتری شمال شرقی بندر عباس	به منظور پالایش گاز ترش حوزه گازی سرخون
واحد نم زدایی قشم (گورزین)	۲,۵	استان هرمزگان- قشم	به منظور تفکیک و نم زدایی گاز طبیعی حوزه گورزین
عسلویه**	۱۲۵	استان بوشهر- عسلویه	این پالایشگاهها در سه بخش وبه منظور پالایش گازهای فاز ۱ تا ۵ تاسیس شده است. و در حال حاضر خطوط سوم و چهارم سراسری را تغذیه می نماید.
ایلام	۶,۸	استان ایلام	جهت بهره برداری از منابع گازی تنگ بیجار

*میلیون متر مکعب در روز با شرایط استاندارد (دمای ۱۵°C و فشار ۱۴,۷ Psia)

Million Standard Cubic Meter Per Day

**به دلیل وسعت میدان گازی پارس جنوبی طراحی فازهای منطقه عسلویه تا ۲۱ فاز انجام گرفته و تا فازهای ۹ و ۱۰ در مرحله ساخت است.

جدول ۲: محل ایستگاههای تقویت فشار گاز موجود بر روی خطوط سراسری

ایستگاه- های خط لوله اول	ایستگاه- های خط لوله دوم	ایستگاه- های خط لوله سوم	ایستگاههای خط چهارم (در دست ساخت)	ایستگاههای خط لوله انزلیجان	ایستگاههای خط لوله اول برای مناطق شمال غربی کشور	ایستگاه- های خط لوله قشم- کرمان	ایستگاه- های منطقه انتقال گاز	ایستگاههای خط صادراتی
آغاچاری	کنگان	کنگان	پارسیان- لامرد	قزوین	چلوئند	سرخون	رضوی	مرد
تنگه پیرزال	فرشبند	فرشبند	خیرگو- بوشهر	خرمدره	اردبیل	آب شیرین	فاروج	مرگلر
پتاه	نورآباد	نورآباد	خنج- بوشهر	زنجان	سراب	حاجی آباد	قلعه جیق- گلستان	
دوراهان	پتاه	پتاه	جهرم-فارس	هشتگرد	تبریز	سیرجان	نکا	
پل کله	دوراهان	دوراهان	خاوران- فارس				نور	
دهق	پل کله	پل کله	ارسنجان				رامسر	
نیزار	دهق	دهق	صفا شهر					
ساوه	نیزار	نیزار	آباد					
قزوین	ساوه	اراک	شهررضا					
رشت			تیران					

ترکیبات گاز طبیعی^۱

گاز طبیعی عمدتاً از هیدروکربورها، همراه با گازهایی مانند دی‌اکسید کربن (CO_2)، نیتروژن (N_2) و در بعضی از مواقع سولفید هیدروژن (H_2S) تشکیل شده است. بخش عمده هیدروکربورها را گاز متان (CH_4) تشکیل می‌دهد و هیدروکربورهای دیگر به ترتیب عبارتند از اتان (C_2H_6)، پروپان (C_3H_8)، بوتان (C_4H_{10})، پنتان (C_5H_{12}) و هیدروکربورهای سنگین‌تر، ناخالصی‌های غیرهیدروکربوری نیز مانند آب، دی‌اکسید کربن، سولفید هیدروژن و نیتروژن در گاز طبیعی وجود دارد. ارزش حرارتی هر متر مکعب گاز طبیعی تقریباً معادل ارزش حرارتی یک لیتر نفت سفید می‌باشد.

گاز شیرین^۲: گاز شیرین گازی است که سولفید هیدروژن و دی‌اکسید کربن آن گرفته شده است.

مراکز استحصال گاز:

۱: گاز غیر همراه^۳

گاز غیر همراه از میادینی که تنها تولید گاز از آنها به صورت اقتصادی امکان دارد استخراج می‌شود. به گاز استخراج شده از میادین نفت می‌عانی که درصد گاز حاصله از هر بشکه هیدروکربورهای مایع سبکه خیلی زیاد است نیز گاز غیر همراه می‌گویند.

۲: کلاهک گاز^۴

حجمی از لایه مخزن در اعماق زمین را کلاهک گاز و یا گنبد گاز^۵ نامیده‌اند که در آن گاز در بالای نفت جمع شود. معمولاً مرتفع‌ترین، یا یکی از مرتفع‌ترین مناطق لایه مخزن محسوب می‌گردد. گاز کلاهک گاز به گازی گفته می‌شود که در کلاهک گاز محبوس شده باشد.

۳: گاز همراه^۶

گاز همراه یا به صورت محلول در نفت خام است که در مراحل بهره‌برداری از نفت خام جدا می‌شود و یا به صورت جداگانه از نفت خام اشباع شده حاصل می‌شود.

خطوط لوله سراسری گاز کشور

با توجه به اینکه درصد بالایی از مصرف گاز در کشور ما مربوط به مصارف خانگی و صنعتی از قبیل نیروگاه‌ها و صنایع فولاد می‌باشد و در سال‌های اخیر قسمتی از گاز کشور به همسایگان ایران از جمله ترکیه صادر می‌شود لازم است گاز تولیدی به مناطق مصرف ارسال گردد. گاز تولیدی از طریق خطوط سراسری و انشعابات فرعی به قطب‌های صنعتی و شهرهای پر جمعیت از جمله تهران و نقاط مرزی جهت صادرات ارسال می‌گردد.

بر اساس توافقنامه‌هایی که در سال ۱۳۴۴ شمسی بین ایران و اتحاد جماهیر شوروی به امضاء رسید، ایران در مقابل ساخت کارخانه ذوب آهن اصفهان و ماشین‌سازی اراک توسط شوروی، تعهد کرد که به آن کشور گاز صادر کند. اجرایی شدن این پروتکل به ایجاد شرکت ملی گاز ایران در همان سال منجر شد و قرارداد فروش سالانه ده میلیارد متر مکعب گاز به شوروی در سال ۱۳۴۹ به امضای طرفین رسید و صدور گاز آغاز شد. پس از پیروزی انقلاب اسلامی، در سال ۱۳۵۸ به دلیل عدم توافق ایران و شوروی بر سر قیمت، صادرات گاز قطع شد. بر اساس گزارش، در مدت اجرای قرارداد ۷۱

¹Natural gas

²Sweet gas

³Non-Associated Gas

⁴Gas cap

⁵Gas Dome

⁶Associated Gas

میلیارد متر مکعب گاز طبیعی به شوروی صادر شده بود. پس از یک وقفه طولانی و توافق بر سر قیمت، دو کشور در سال ۱۳۶۹ قرارداد پانزده ساله‌ای برای صادرات گاز امضاء کردند و صادرات گاز به آن کشور دوباره از سر گرفته شد و تا زمان فروپاشی اتحاد جماهیر شوروی در سال ۱۹۹۱ (۱۳۷۰ شمسی) ادامه یافت، اما از آن زمان این خط لوله برای انتقال گاز به مناطق غربی و مصارف داخلی به‌کار گرفته شده است.

نخستین خط لوله سراسری گاز (IGAT I) به طول ۱۱۰۰ km، قطر ۴۲" و ظرفیت ۴۶ میلیون متر مکعب در روز به همین منظور احداث شد تا گاز پالایشگاه بیدبلند را به آستارا در مرز شوروی سابق برساند.

خط لوله دوم سراسری گاز (IGAT II) به طول ۱۸۰۰ km، قطر ۵۶" و ظرفیت ۱۱۰ میلیون متر مکعب در روز از پالایشگاه کنگان به خطوط قزوین جهت مصرف منتقل می‌گردد.

خط لوله سوم سراسری گاز (IGAT III) به طول ۸۷۰ km، قطر ۵۶" و ظرفیت ۱۱۰ میلیون متر مکعب در روز جهت انتقال گاز از فازهای ۱ تا ۵ پارس جنوبی از عسلویه و پالایشگاه کنگان به استان‌های مرکزی و غرب کشور برای تأمین گاز مصرفی مورد نیاز کشور ایجاد شده است.

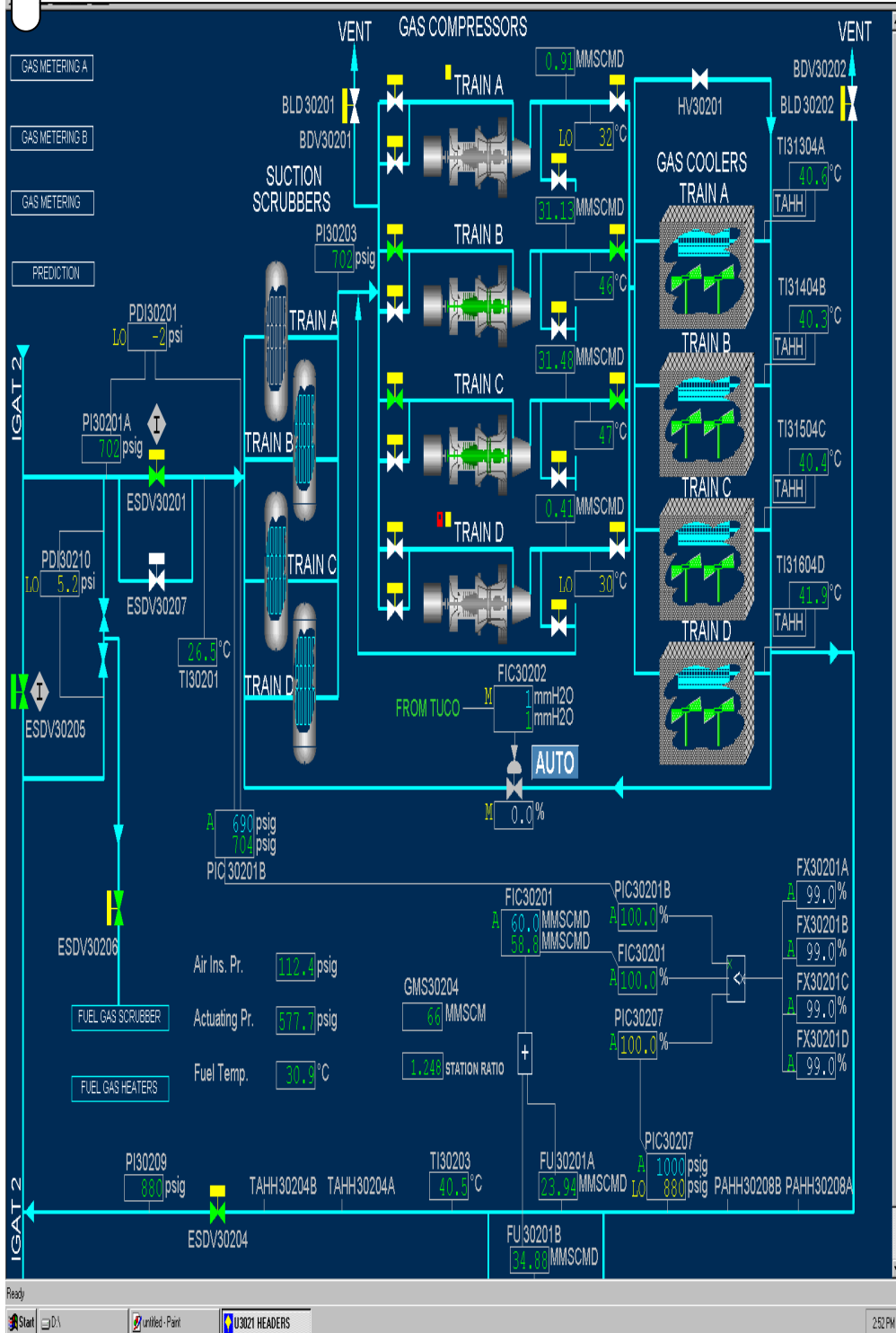
خط لوله چهارم سراسری گاز (IGAT IV) به طول ۱۲۵۰ km، قطر ۵۶" و ظرفیت ۱۱۰ میلیون متر مکعب در روز از فازهای ۱ تا ۵ پارس جنوبی و پالایشگاه گاز پارسیان تغذیه نموده و پس از عبور از استان‌های فارس و اصفهان به شهرهای ساوه و قزوین می‌رسد و در آینده به خطوط صادراتی آستارا متصل می‌شود.

در حال حاضر طول کل خطوط سراسری انتقال گاز به ۲۶۰۰۰ km رسیده است و برنامه ریزی برای توسعه تا ۱۰ خط سراسری در دستور کار شرکت ملی گاز ایران قرار دارد. در جدول، به مشخصات خطوط سراسری پنجم تا دهم اشاره شده است.

جدول ۳: مشخصات خطوط لوله سراسری گاز ایران

خط لوله	قطر	طول خط Km	مسیر و مقصد	ظرفیت اسمی (MMSCM/D)
پنجم	۵۶"	۵۰۵	از فازهای ۶ و ۷ پارس جنوبی به پالایشگاه گاز فجر و سپس به مقصد خوزستان و همچنین جهت تزریق گازهای ترش در چاه‌های نفت مناطق نفت خیز جنوب	۹۵
ششم (سراسری و فرامرزی)	۵۶"	۶۰۷	از فازهای ۹ و ۱۰ پارس جنوبی برای صادرات به کویت و شاخه ای جهت مصارف داخلی در استان‌های غربی کشور	۱۱۰
هفتم	۵۶"	۲۲۰۰	از عسلویه تا ایرانشهر با عبور از شهر بندرعباس جهت صدور به هند و پاکستان و مصارف داخلی استان سیستان و بلوچستان. ضمناً شاخه ای از این خط لوله جهت مصارف داخلی به استان کرمان وارد می‌گردد.	۱۱۰
هشتم	۵۶"	۱۲۶۰	از عسلویه آغاز می‌شود و با گذر از کنار پالایشگاه پارسیان، گاز آنجا را نیز برداشت کرده و از سمت شرق استان فارس به اصفهان و مناطق مرکزی خواهد رفت.	۱۱۰
نهم	۵۶"	۱۸۶۳	در ادامه خط ششم سراسری برای انتقال گاز عسلویه به مرز بازرگان احداث خواهد شد این خط مسوولیت تأمین گاز استان‌های لرستان، کرمانشاه و کردستان و در نهایت تزریق گاز به میدانی صادراتی را بر عهده دارد.	۱۱۰
دهم	۵۶"	۵۰۰	این خط از پالایشگاه فجر آغاز می‌شود و به پتاهو، استان کهگیلویه و بویر احمد و در نهایت به سمت شمال ادامه می‌یابد	۹۰

⁷Iranian gas Turk line



فصل ۱

آشنایی با ایستگاه

اتصال ایستگاه با خط سراسری

شماره گذاری قسمت‌های مختلف ایستگاه

ساختمانهای ایستگاه

مرکز تقلیل فشار

محوطه **pig launcher & receiver**

قسمت تخلیه گاز

ستون های برقگیر

فصل ۱

آشنایی با ایستگاه

این فصل جهت آشنایی خواننده محترم با شمایل کلی ایستگاه ، اعم از نحوه اتصال آن به خط و یا نحوه قرار گیری ساختمانها و تجهیزات مختلف آن در کنار هم و کاربری آنها گرد آوری گردیده است.

اتصال ایستگاه به خط سراسری

خطوط سراسری بوسیله دو شیر اصلی به ورودی و خروجی ایستگاه متصلند . معمولاً این دو شیر، ارتباط بین خط و ایستگاه را برقرار می نمایند ولی در صورتیکه یک ایستگاه به دو خط سراسری متصل باشد علاوه بر دو شیر فوق در ورودی و خروجی خط ، دو شیر دیگر نیز در ورودی و خروجی ایستگاه نصب می شوند و ما بین شیرهای ایستگاه و خط ، اتصالات مربوط به ارتباط ایستگاه با دیگر خطوط تعبیه می گردند. ضمن اینکه خطوط سراسری علاوه بر دو شیر جهت ارتباط با ایستگاه ، مجهز به شیر دیگری با عنوان شیر بای پاس^۸ هستند و در صورتیکه بنا به هر دلیلی نیازی به استفاده از ایستگاه نباشد و یا ایستگاه با^۹ ESD1 متوقف گردد ، این شیر باز بوده و در غیر این صورت و در زمان کارکرد ایستگاه بایستی بسته باشد. همچنین خطوط سراسری بوسیله لوله ها و اتصالاتی می توانند به یکدیگر متصل شوند .

شماره گذاری قسمتهای مختلف ایستگاه

جهت شناسایی بهتر و نامگذاری تجهیزات و ابزار آلات مربوطه در ایستگاههای جدید ، معمولاً قسمتهای مختلف ایستگاه را با یک عدد ۶ رقمی نشان می دهند. در این نامگذاری به ترتیب از سمت چپ ، رقم اول نشانگر ایستگاه ، رقم دوم و سوم نشانگر نام واحد می باشد . رقم چهارم نمایانگر نام تجهیز و ارقام پنجم و ششم ، شماره تجهیز را نشان می دهند.

ساختمانهای ایستگاه

اتاق کنترل

اتاق کنترل که محل استقرار بهره برداران نیز می باشد اتاقی است که توان کنترل تجهیزات ایستگاه و توربوکمپرسورها را بوسیله دریافت تمامی اطلاعات فرستاده شده

^۸By pass valve

^۹Emergency shut down

توسط حسگرها، به بهره برداران خواهد داد. اغلب تجهیزات فنی جهت کنترل و جمع آوری اطلاعات در اتاق کنترل جمع آوری می گردند. تجهیزاتی که در اتاق کنترل وجود دارند عبارتند از:

- سیستم (SCS)¹⁰ و نمایشگر مربوطه که کنترل کل ایستگاه بوسیله این سیستم انجام می گردد.
- سیستم (ESD)¹¹ که کنترل shut down و شیرهای آن¹² (ESDV) را بعهده دارد.
- پنل MIMIC که در آن شماتیک عملکرد کلی ایستگاه با دیویدهای رنگی مشخص است در ضمن دکمه کلید توقف های اضطراری نیز روی آن نصب شده است. از روی این پنل می توان پارامترهای مختلف ایستگاه را غیر فعال نمود.
- سیستم (UCP)¹³ و نمایشگر مربوطه که کنترل هر واحد توربوکمپرسور را بعهده دارد. تمامی پارامترهای متعلق به توربین گاز از طریق مانیتور این سیستم قابل کنترل و نظارت می باشد.
- سیستم (F&G)¹⁴ که وظیفه تشخیص آتش و گاز را بعهده دارد. حسگرها پس از تشخیص وجود گاز، دود و یا شعله، سیگنال مربوطه را به سیستم فوق ارسال نموده و بصورت آلام در اتاق کنترل ظاهر می شوند. معمولاً هر حسگر ناحیه خاصی از ایستگاه را نشان می دهد. که هم روی تابلوی مخصوص سیستم و هم در مانیتور SCS قابل مشاهده است.
- سیستم (PMS)¹⁵ و نمایشگر مربوطه که سیستم برق ایستگاه را کنترل و اداره می کند. تمامی بریکرها در قسمت ولتاژ قوی و ولتاژ ضعیف، از طریق مانیتور این سیستم قابل کنترلند.
- سیستم (RTU)¹⁶ که داده های مهم ایستگاه را به دیسپچر انتقال می دهد و در صورتیکه کنترل توربوکمپرسورها از روی پنل UCP و سیستم SCS روی حالت کنترلی REMOTE باشد، دیسپچر می تواند Set point پارامترهای زیر را تغییر دهد.
 - فلولی ایستگاه
 - حداقل فشار ورودی ایستگاه
 - حداکثر فشار خروجی ایستگاه

بنابراین بهره بردار با سیستم های فوق می تواند اطلاعات ایستگاه و واحدها را، هر لحظه مشاهده نموده و از طریق مانیتورهای مربوطه اقدام به اعمال کنترل ایستگاه نماید.

اتاق UPS

که تجهیزات مخصوص به آن و کلیه تجهیزاتی که نیاز به برق با فرکانس کنترل شده دارند در این اتاق نصب شده اند. طرز عمل سیستم فوق در گفتار تجهیزات جانبی و در قسمت برق ایستگاه توضیح داده شده است.

اتاق باتریها

¹⁰Station control system

¹¹Emergency shut down

¹²ESD Valve

¹³Unit control system

¹⁴Fire&Gas detector

¹⁵Power management system

¹⁶Remote terminal unit

باتریها در صورت قطع برق سراسری، تا مدت زمان مشخصی (بسته به نوع طراحی آن) برق ایستگاه را تامین می نمایند. این باتریها می توانند در انواع 48V.DC، 110V.DC و 440VDC باشند که در هر ولتاژ، باتریها بصورت سری می باشند. باتریهای ۴۴۰ ولت پس از تبدیل به برق AC جهت مصارف واحد و باتریهای ۱۱۰ ولت برای تابلوهای فرمان و روشنایی اضطراری و نوع ۴۸ ولت آن در ورودی مدار کنترل واحد استفاده می شوند. طراحی این باتریها باید بگونه ای باشد که در صورت ادامه قطعی برق شبکه، نیاز واحدها را تا پایان مدت زمان cool down تامین نماید.

اتاق برق فشار قوی^{۱۷}

برق با ولتاژ ۲۰ کیلو ولت وارد این اتاق شده و پس از ورود بوسیله بریکرهای مربوطه و گذر از ترانسها جهت کاهش ولتاژ تا ۳۸۰ ولت به اتاق ولتاژ پایین فرستاده می گردد. این بریکرها می توانند بصورت محلی و یا از طریق مانیتور PMS کنترل شوند.

اتاق برق فشار ضعیف^{۱۸}

این اتاق با نامهای^{۱۹} MCC (مرکز کنترل متورها) و یا سویچ گیر نیز شناخته می شود. برق پس از اتاق ولتاژ بالا با ۳۸۰ ولت از طریق ترانسها وارد شمش هایی با نام باس (BUS) شده و مصرف کننده ها نیز از طریق بریکرهای مربوطه، برق مصرفی خود را تامین می نمایند. برخی استارترهای واحد نیز در این اتاق نصب شده اند.

اتاق MCC خنک کننده های گاز:

برق ۲۰ کیلو ولت از طریق دو عدد بریکر مستقیماً به سمت این اتاق رفته و در ورودی آن، توسط ترانسهای مربوطه، ولتاژ ۳۸۰ آن تامین می شود. در این اتاق بریکرها و استارترهای هر کدام از فن ها نصب شده اند.

اتاق مولد برق اضطراری

که مولد برق اضطراری و کلیه تجهیزات مربوطه اعم از نرم افزاری و سخت افزاری در آن نصب گردیده است البته معمولاً خنک کننده های این مجموعه بیرون از اتاق نصبند. این مولد وظیفه تامین برق ایستگاه را در زمان قطع برق شبکه بعهده دارد.

اتاق کمپرسور هوای ابزار دقیق

که معمولاً شامل دو عدد کمپرسور هوا از نوع رفت و برگشتی و یا پیچشی، فیلترهای هوا و روغن، واحد خشک کننده جهت جدا نمودن رطوبت از هوا و کلیه شیرها و ابزار آلات مخصوص به خود می باشد و مخزن ذخیره آن نیز در کنار این اتاق قرار دارد.

مرکز تقلیل فشار^{۲۰}

که وظیفه تامین گاز مصرفی سوخت توربین گاز، مولد برق اضطراری، بویلرها و گاز مصرفی ساختمانهای ایستگاه را بعهده دارد. در صورتیکه از بویلر برای گرم کردن گاز استفاده شود اتاق بویلرها که معمولاً شامل دو عدد بویلر و پمپ های مربوطه، مخزن انبساطی و شیر آلات و تجهیزات مخصوص اندازه گیری می باشد، نیز در نزدیکی این مرکز وجود دارد.

¹⁷High Voltage

¹⁸ low voltage

¹⁹Motor control center

²⁰Gas reducer center

محوطه توپک رانی pig launcher & receiver

پیگ (pig) وسیله ای است دوار که روی لبه های آن برس های تمییز کننده نصب شده است و با فشار گاز پشت آن حرکت می کند. سرعت پیگ معمولا حدود ۷ کیلومتر در ساعت است. حرکت پیگ درون لوله مارپیچ بوده و وظیفه آن تمییز کردن داخل لوله می باشد. برخی از انواع پیگ ها ، هوشمند بوده که هم مکان خود را گزارش داده و هم با ضبط تصاویر ، مشکلات بوجود آمده درون لوله مانند کاهش ضخامت ، پوسیدگی ، نشستی و... را مشخص می کند.

پیگ ها از قسمت launcher ایستگاه پرتاب شده و در قسمت receiver ایستگاه بعد دریافت می گردند. این کار بعهده کارکنان خط لوله بوده و بهره بردار صرفا اجازه کار را صادر می کند.

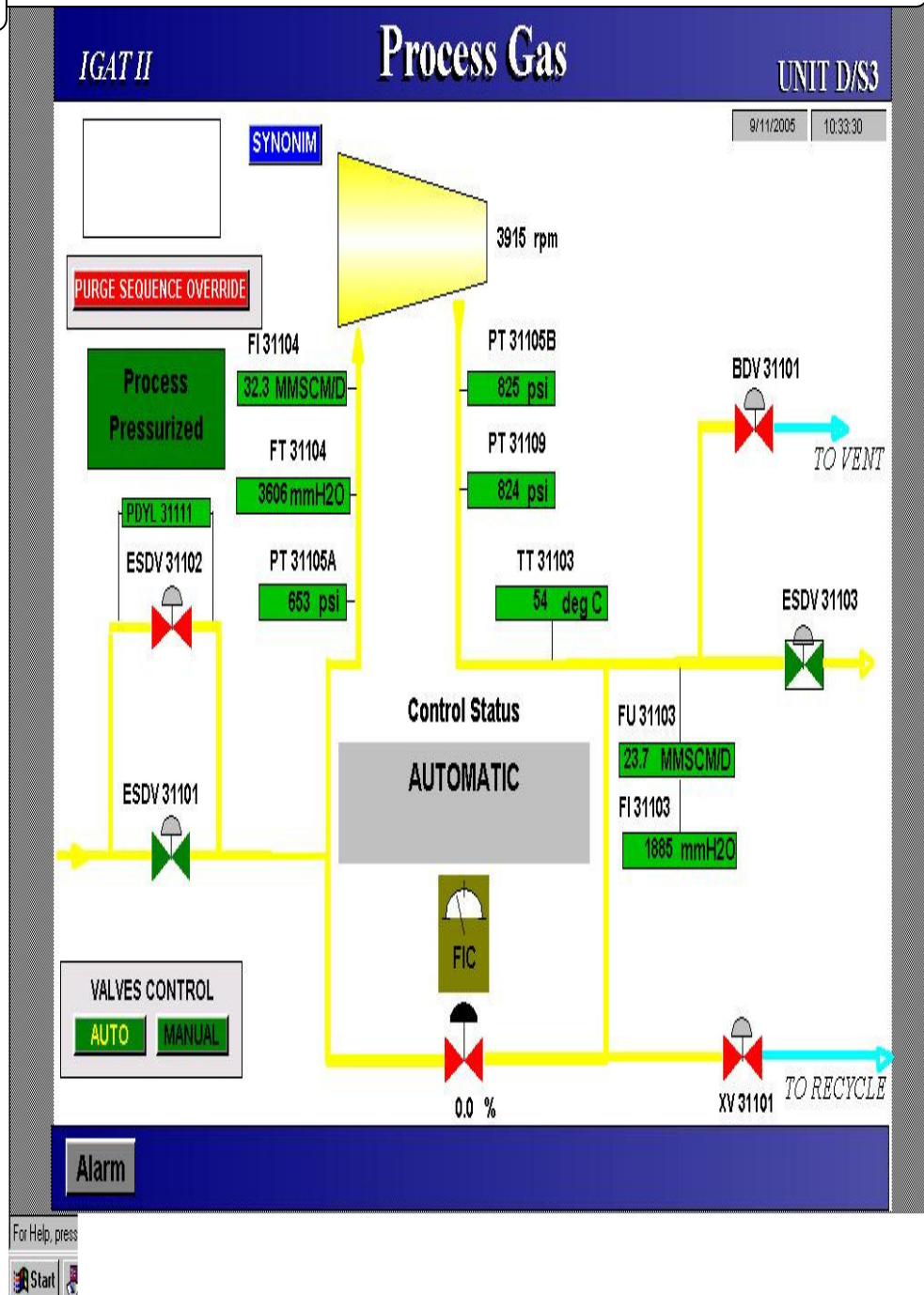
قسمت تخلیه گاز²¹

به منظور کاهش وقوع آتش سوزی و انفجار و یا هر وضعیت خطرناک دیگر طراحی می گردد. گازها بوسیله فرمان شیرهای تخلیه و توسط لوله های آن به محل تخلیه گاز هدایت می شوند. این محل باید در یک محوطه ایمن صورت گیرد که برای قسمتهای مهم ایستگاه مشکل ساز نباشد. برای انتخاب این قسمت باید جهت وزش باد نیز در نظر گرفته می شود.

ستون های برقگیر:

برای جلوگیری از صدمات صاعقه ، این ستون ها در قسمتهای مختلف محوطه نصب می گردد.

²¹Vent stack



فصل ۲

فرایند

ارتباط خطوط سراسری انتقال گاز با ایستگاههای تقویت فشار
ارتباط خطوط مختلف در مجاورت ایستگاهها
تعویض خطوط:
فرایند :
تخلیه هوا و گازدارکردن لوله ها
هوازدایی خطوط لوله بوسیله گاز

فصل ۲

فرایند

رعایت شرایط زیر در طراحی لوله ها ی ایستگاه ، جلوگیری از خوردگی زودرس ، آلودگی صوتی زیاد و محدودیت افت فشار را به همراه خواهد داشت.

۱. حداکثر سرعت مجاز گاز باید کمتر از 18.3 m/s باشد.
 ۲. میزان صدا در یک متری افقی و یک و نیم متری عمودی از منبع صدا برابر یا کمتر از 85db باید در نظر گرفته شود.
 ۳. حد اکثر مقدار ρv^2 (توان دوم سرعت $\times$ چگالی) نباید بیش از 14000 kg/ms² باشد.
 ۴. حد اکثر افت فشار برای لوله های مستقیم بیش از 11/6 psi/km نباشد . افت فشار بیش از این ، نشان دهنده وجود اصطکاک زیاد درون لوله بر اثر خوردگی ، زبری یا رسوب گرفتگی است. فشار طراحی سایر تجهیزات با توجه به قوانین زیر تعیین و تنظیم می گردد:
- اگر ماکزیمم فشار کاری بیشتر از 145psig باشد فشار طراحی 1/1 برابر آن خواهد بود.
 - اگر ماکزیمم فشار کاری کمتر از 145psig باشد آنگاه فشار طراحی معادل حاصل جمع ماکزیمم فشار کارکرد و 14.5psig خواهد بود.
- دمای تجهیزات با توجه به اصول زیر تنظیم گردیده است:
- ماکزیمم دمای طراحی برابر است با ماکزیمم دمای کاری به اضافه 30 درجه سانتیگراد، به شرط اینکه کمتر از 85 درجه سانتیگراد نشود.
 - از دو مقدار زیر هر یک که کمتر باشد برابر مینیمم دمای طراحی است:
 -

الف: 10- (مینیمم دمای کاری)

ب: مینیمم دمای محیط

ارتباط خطوط سراسری انتقال گاز با ایستگاههای تقویت فشار

هر خط انتقال گاز در مبادی ورودی ایستگاهها دارای یک شیر ورودی ، یک شیر خروجی و یک شیر بای پاس ایستگاه می باشد که بهره بردار می بایستی نحوه عملکرد شیرهای مذکور را بداند. در صورتیکه ایستگاه بخواند روی این خط کار کند ، باید

شیرهای ورودی و خروجی باز و شیر بای پاس بسته باشد و در غیر این صورت شیرهای ورودی و خروجی بسته و شیر بای پاس را باز می گذارند تا جریان گاز بصورت آزاد و بدون فشاردار شدن در ایستگاه ، به مسیر خود ادامه دهد. توجه به این نکته ضروری است که ایستگاههایی که در مجاورت ۲ و یا چند خط سراسری قرار دارند برای خود شیرهای ورودی و خروجی مجزا دارند. خطوط سراسری ، علاوه بر شیرهای فوق ، شیرهایی جهت دریافت و پرتاب پیگ دارند .

ارتباط خطوط مختلف در مجاورت ایستگاهها

هر ایستگاه تقویت فشار روی یک خط سراسری ساخته می شود ولی جهت بالا بردن انعطاف کاری ایستگاههایی که در مجاور هم ، روی خطوط موازی احداث شده اند ضمن برقراری ارتباط بین خطوط سراسری مجاور ، ایستگاهها را نیز توسط شیرها و لوله هایی ، به یکدیگر مرتبط می نمایند تا در شرایط مختلف ، هر ایستگاهی بتواند بطور مجزا روی خطوط کار کند و یا اینکه دو ایستگاه با هم ، از یک و یا دو خط بصورت همزمان تغذیه شده و بنا به صلاحدید خروجی مجزا و یا مشترک داشته باشند.

تعویض خطوط:

یک اصل اساسی در رابطه با گاز ها این است که گاز همواره از نقطه با فشار بالاتر به سمت نقطه با فشار پایین تر خواهد رفت . عدم اشراف کامل به مصادیق عملی این اصل ، باعث بروز مشکلات عدیده ای ، بخصوص در زمان تعویض خطوط خواهد شد. انواع حالتی را که یک ایستگاه می تواند با دو خط سراسری کار کند بصورت زیر است:

- ورودی از خط ۱ و خروجی به خط ۱
- ورودی از خط ۲ و خروجی به خط ۲
- ورودی از خط ۱ و خروجی به خط ۱و۲
- ورودی از خط ۲ و خروجی به خط ۱و۲
- ورودی از خط ۱و۲ و خروجی به خط ۱
- ورودی از خط ۱و۲ و خروجی به خط ۲
- ورودی از خط ۱و۲ و خروجی به خط ۱و۲
- ورودی از خط ۱ و خروجی به خط ۲
- ورودی از خط ۲ و خروجی به خط ۱

جهت تعویض خطوط فرمول واحدی نمی توان نوشت و این عمل در ایستگاههای مختلف ، اندکی متفاوت است ولی توجه به نکات زیر ضروری است:

۱. اول اینکه بهره بردار می بایست محدوده مجاز پارامترهای مهمی چون فلو ، فشار، دما ، دور و زمان باز شدن شیر ضد سرج^{۲۲} واحد را بداند تا در زمان لازم تصمیم مناسبی بگیرد.
۲. از قبل مراحل کاری خود را چندین بار در ذهن مرور نماید و حالات احتمالی آینده را پیش بینی کند تا در زمان مقتضی بداند ابتدا از کدام شیر شروع نماید و با باز و یا بسته نمودن شیرهای مذکور چه تغییری در رابطه با فلو ، فشار و دمای گاز عبوری از واحدها در انتظار ایستگاه است.

فرایند :

گاز پس از ورود از شیر ورودی خط سراسری و شیر ورودی ایستگاه ، به سمت هدر^{۲۳} ورودی اسکرابر^{۲۴} ها خواهد رفت. هدر دو خاصیت بارز دارد:

- اول اینکه واحدهای مختلف همزمان و بطور مساوی گاز را دریافت می کنند.

^{۲۲}Anti surge valve

^{۲۳}Header

^{۲۴}Scrubber

◀ دوم آنکه هدر، تلاطم و آشفتگی جریان گاز را می گیرد .

سپس گاز ، توسط شیرهای ورودی اسکرابرها به داخل آنها رفته و پس از تصفیه و پالایش توسط شیرهای خروجی اسکرابرها به هدر خروجی هدایت شده و از آنجا به سمت هدر ورودی واحدها می رود. معمولاً ایستگاهها علاوه بر شیرهای تخلیه گاز^{۲۵} در مراکز تقلیل فشار و خروجی هر واحد که در ادامه خواهد آمد ، دو شیر تخلیه دیگر در محوطه ایستگاه دارند تا در شرایط اضطراری در کمترین زمان ممکن بتوانند کاملاً گاز درون ایستگاه را تخلیه نمایند. یکی از این شیرها روی مسیری است که از هدر ورودی واحدها جدا شده و به محل تخلیه گاز می رسد. گاز از هدر ورودی واحدها توسط شیرهای ورودی هرکدام از واحدها جهت فشاردار شدن به کمپرسور گاز می رسد. این شیرهای ورودی هرکدام مجهز به یک شیر بای پس نیز می باشند. در خروجی کمپرسور ، ۳ مسیر در پیش و روست :

◀ اول که حالت معمول و نرمال آن است ؛ گاز پس از عبور از شیر یکطرفه خروجی واحد از شیر خروجی واحد نیز گذشته ، وارد هدر خروجی واحدها می شود.

◀ دوم آنکه ؛ در شرایط ضروری که واحد به سرج نزدیک می شود و قبل از شیر خروجی واحد ، از طریق مسیر دیگری به سمت شیر ضد سرج رفته و پس از عبور از این شیر ، وارد هدر ورودی واحد می گردد. طول این مسیر در ایستگاههای مختلف، متفاوت است ولی در همه آنها خروجی کمپرسور گاز ، به ورودی آن وصل می شود. البته در طراحی این مسیر توجه به دو نکته ضروری است:

۱. از آنجاییکه این مسیر در مواقع اضطراری و جهت تقویت فشار ورودی کمپرسور گاز بکار می رود ، لازم است هر چه سریع تر مقداری از گاز خروجی را به گاز ورودی رسانده تا فلو و فشار گاز ورودی بالا رفته و از سرج جلوگیری گردد.

۲. اگر این مسیر خیلی کوتاه باشد از آنجاییکه دمای گاز خروجی واحد بالاست، دمای گاز ورودی را نیز تحت تاثیر قرار داده و بدلیل چرخش مکرر گاز از ورودی به خروجی، دمای گاز خروجی بصورت تصاعدی بالا می رود و در نهایت موجب توقف اضطراری واحد می گردد. بنابراین در حین در نظر گرفتن نکته اول ، می بایست به نکته دوم نیز توجه نمود و مسیری بینابین را برگزید. بهترین حالت ، استفاده از یک هدر مجزا است تا گاز پس از عبور از شیر ضد سرج وارد هدری که بین همه واحدها مشترک است ، شده و سپس به هدر ورودی واحدها برود تا در طی این مسیر ، فرصت تعدیل دما نیز وجود داشته باشد تا عملاً امکان استفاده از این مسیر وجود داشته باشد.

◀ مسیر سوم ؛ مسیر تخلیه اضطراری واحد می باشد که گاز پس از خروج از کمپرسور گاز ، توسط یک شیر تخلیه اضطراری وارد هدر تخلیه گاز واحدها شده و از نقطه ای به نام vent stack در اتمسفر رها می شود. این مسیر جهت حفظ امنیت و ایمنی در شرایط نزدیک به آتش سوزی و انفجار طراحی شده است.

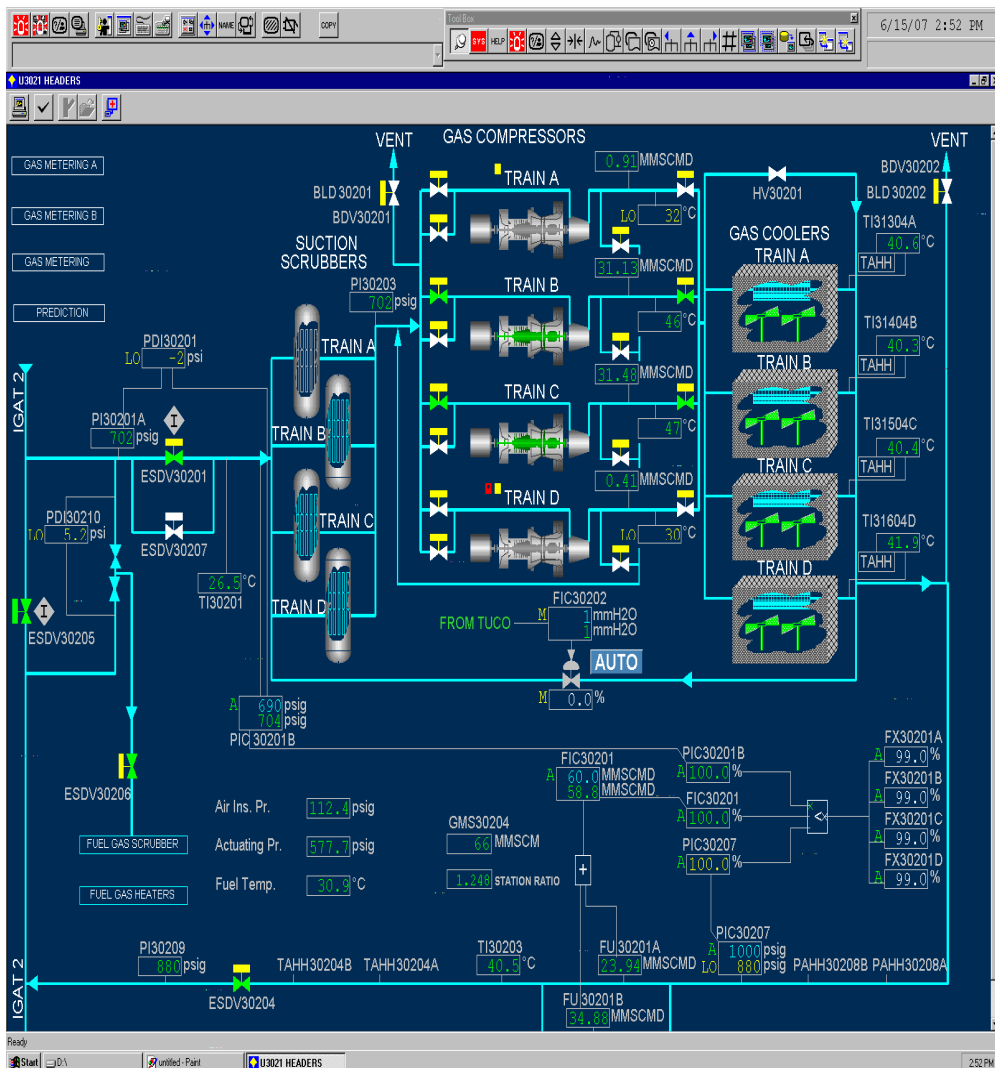
در نهایت گاز پس از عبور از شیر خروجی واحد وارد هدر خروجی واحدها شده ، جهت تعدیل دما به سمت واحد خنک کننده^{۲۶} می رود. در این مرحله نیز دو مسیر وجود دارد:

- گاز وارد هدر ورودی خنک کننده شده و از طریق شیرهای ورودی که معمولاً به تعداد واحدهای آن می باشد ، توسط فنهای تعبیه شده، خنک می گردند و پس از عبور از شیرهای خروجی واحد خنک کننده به هدر خروجی آن می رود.
- در صورتیکه بنابه هر دلیلی نخواهیم گاز، وارد خنک کننده شود ، توسط شیر بای پاس واحد خنک کننده ، از هدر ورودی به هدر خروجی می رود. پس از آن و قبل از خروج گاز از ایستگاه مسیری طراحی شده که طی آن خروجی

²⁵ Blow down valve

²⁶ Gas cooler

واحد خنک کننده را توسط شیر کنترلی ریسایکل^{۲۷} ایستگاه به هدر ورودی اسکرابر متصل می نماید. این مسیر قدرت انعطاف ایستگاه را در شرایط مختلف بالا می برد. در صورتیکه این شیر کاملاً باز باشد، قسمتی از فلو خروجی ایستگاه به سمت ورودی کمپرسور گاز برمی گردد. معمولاً یکی از شیرهای تخلیه ایستگاه در خروجی واحد خنک کننده تعبیه می شود تا بتواند در شرایط مقتضی، گاز قسمتهای خروجی را هر چه سریعتر تخلیه نماید. سپس معمولاً جهت اندازه گیری دقیق فلو، گاز، پس از گذر از اندازه گیرهای دما، فشار و فلو و عبور از شیر یکطرفه خروجی ایستگاه از طریق شیر خروجی ایستگاه به سمت شیر خروجی خط سراسری رفته و وارد خط شده و با توجه به فشار کمتر در ورودی ایستگاه بعد به همان سمت می رود.



شکل ۲-۱: نمایی کلی از یک ایستگاه تقویت فشار

تخلیه هوا و گازدار کردن لوله ها

یکی از مهمترین کارهای یک بهره بردار، گازدار کردن ایستگاه است که مستلزم دقت و حساسیت بالایی است زیرا در کنار هم قرار گرفتن گاز و هوا بسیار خطرناک است. روشهای مختلفی برای گاز دار نمودن خطوط پیشنهاد می شود که از آن جمله اند:

²⁷Recycle valve

◀ تزریق خود گاز بدون واسطه

◀ استفاده از یک سیال واسطه برای تخلیه هوا مانند CO_2 و N_2 .

مزایای و معایب استفاده از CO_2 : نسبت به N_2 سنگین تر است ، در نتیجه پراکندگی و پخش آن کمتر است به همین دلیل با مقدار کمتری نسبت به N_2 می توان به نتیجه رسید توجه به این ضروری است که CO_2 نسبت به N_2 قابلیت حل شدن بیشتری در آب داشته و بنابراین ، خطوطی که دارای رطوبت زیادی باشد ، استفاده از N_2 بهتر است.

- در لوله های با طول کم ، و در دمایی که مطمئناً تقطیر صورت نمی گیرد می توان از بخار آب بعنوان سیال واسطه جهت جلوگیری از ترکیب گاز و هوا استفاده می شود.
- در جاهایی که خط لوله قبل از استفاده ، بوسیله آزمایش هیدروستاتیک و برای یافتن نشتی کنترل می گردد استفاده از آب جهت تخلیه هوا بسیار مناسب می باشد . در ضمن بعد از این آزمایش خط لوله باید کاملاً از آب تخلیه و درون لوله خشک گردد .

○

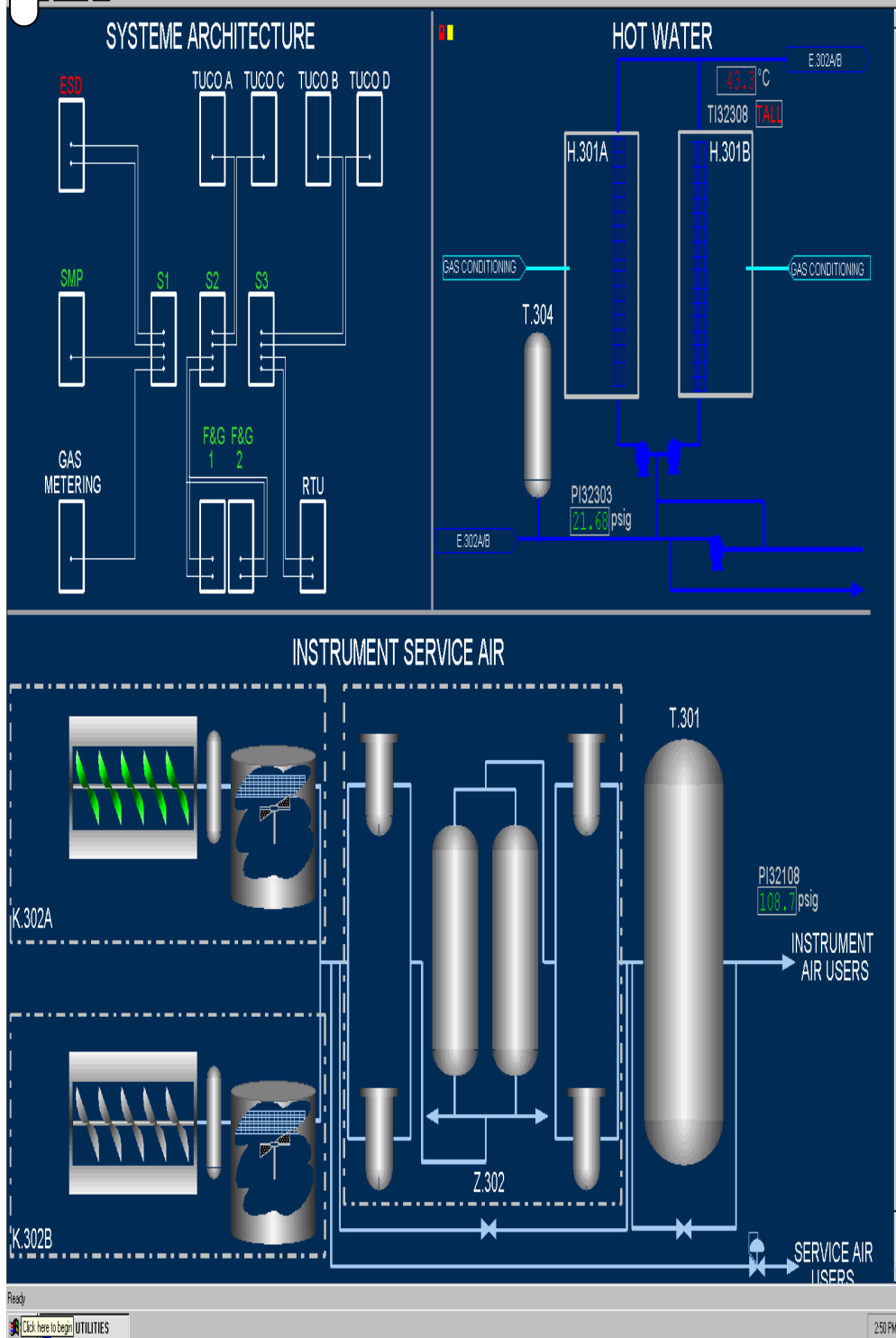
هوازدایی خطوط لوله بوسیله گاز

در این روش گاز با یک سرعت مجاز ، هوا را از یک نقطه ایمن به بیرون لوله ها تخلیه می کند رعایت سرعت حد مجاز بسیار مهم بوده و عملاً همین عامل است که از ترکیب هوا و گاز در محدوده انفجار جلوگیری می نماید . حداکثر سرعت مجاز برای انجام این کار 18.3 m/s و حداقل آن 2 m/s می باشد و باید از بکار بردن سرعتهایی کمتر یا بیشتر از حد مجاز به شدت جلوگیری نمود.

جهت تخلیه هوای داخل لوله و گازدار نمودن آن مراحل زیر باید طی شود:

۱. باز نمودن شیر تخلیه انتهای لوله
۲. باز کردن شیر ورودی گاز
۳. حفظ فشار خط به مدت کافی (۹۰ ثانیه به ازای هر کیلومتر خط لوله)
۴. بستن شیر ورودی گاز پس از طی زمان مناسب
۵. باز نگه داشتن شیر تخلیه انتهای لوله برای یک مدت زمان اضافی (۴۵ ثانیه به ازای هر کیلومتر خط لوله)

حال با خیال راحت می توان شیر تخلیه را بست و گاز را به خط لوله تزریق نمود.



فصل سوم

ایستگاه تقویت فشار

اجزای اصلی ایستگاه

توربوکمپرسورها

خنک کننده گاز

اجزای کمکی ایستگاه

سیستم تامین هوای ابزار دقیق ایستگاه

مرکز تقلیل فشار

سیستم گرم کننده گاز

برق ایستگاه

شبکه تخلیه هیدروکربن های مایع

فصل سوم

ایستگاه تقویت فشار

ایستگاه‌های تقویت فشار در جهت تامین فشار مورد نیاز برای انتقال گاز از نقطه ای به نقطه دیگر طراحی شده اند و برای انجام هدف نهایی خود از یک پروسه از پیش طراحی شده تبعیت می کنند این پروسه به تجهیزات و تاسیساتی نیاز دارد که این فصل به بررسی عملکرد آنها می پردازد.

توربوکمپرسورها ، فشار گاز را افزایش داده و در نهایت باعث حرکت گاز در خطوط سراسری می شوند. در نتیجه برای حفظ و نگهداری بهتر و البته بالا بردن راندمان آنها ، یک سری تجهیزات جانبی مانند اسکرابر ها ، فن های خنک کننده و ... وجود دارند که شرح آن در زیر آمده است. تجهیزات فوق الذکر، تجهیزات اصلی هستند که مستقیماً با فرآیند فشرده سازی گاز در ارتباط می باشند. تجهیزات دیگری در ایستگاه وجود دارد که با نام تجهیزات کمکی شناخته می شوند. این تجهیزات از تجهیزات اصلی پشتیبانی کرده و زمینه کار را برای آنها فراهم می آورند. همچنین برخی دیگر از نیازها نیز توسط این تجهیزات مرتفع می شود. در ادامه به توضیح بیشتری در خصوص تاسیسات اصلی و کمکی پرداخته می شود.

شیرهای ورودی، خروجی و بای پاس (By-Pass):

خط لوله سراسری به يك شیر بای پاس مجهز شده است که از طریق آن می‌توان گاز را بدون وارد کردن در ایستگاه از خط لوله عبور داد. این شیر در زمان کار ایستگاه، بسته، و در زمان توقف ایستگاه و یا بوجود آمدن اختلاف فشار کمتر از 50 Psi دو طرف آن، باز می‌گردد. زیرا ممکن است در خط سراسری مشکلی مانند شکستگی لوله بوجود آمده باشد. برای باز کردن شیرهای ورودی باید اختلاف فشار بین دو طرف شیر به کمتر از 30 Psi برسد (به منظور جلوگیری از آسیب به قطعات شیر و عکس العمل سریع آن). همه شیرهای ورودی دارای یک شیر بای پاس هستند که از آنها برای گاز زدن به تجهیزات استفاده می‌شود. شیرهای ورودی و خروجی و شیر بای پاس ایستگاه، قادرند ایستگاه را از خط لوله جدا کنند.

اسکرابرها:

به منظور جلوگیری از ورود ذرات و قطرات کوچک مایع به کمپرسورهای گاز، اسکرابرها در نظر گرفته شده اند. گاز ورودی به ایستگاه از طریق هدر ورودی اسکرابر ها توزیع شده و به تمیز کننده‌های گاز وارد می‌شود. اسکرابر ها که معمولاً تعدادشان به تعداد واحدهای ایستگاه است بصورت موازی نصب می‌شوند. اسکرابرها انواع مختلفی دارند برخی انواع قدیمی تر، از صفحات فلزی مشبک جهت فیلتر کردن گاز استفاده می‌نمایند. بدین ترتیب که گاز از وسط اسکرابر وارد شده و در اثر برخورد با این صفحات، ذرات جامد و مایع گاز به سمت پایین جریان یافته و از طریق شیر تخلیه به بیرون هدایت می‌شوند.

نوع دیگر این اسکرابر ها از نوع سیکلو تیوبی^{۲۸} بوده و دارای مزایای زیر می‌باشند:

- کارایی بالا در جذب و جدا سازی ذرات خارجی، بازدهی ۹۹٪ در جذب ذراتی که بزرگتر از ۱۰ میکرون هستند.
- دارای هزینه تعمیراتی پایین بوده به طوری که خود تمیز کننده بوده و مصرفی نمی‌باشند.
- بدلیل آنکه ذرات جامد توسط مایعات جذب می‌شوند، گاز در این فیلترها دائمی و بدون مانع جریان دارد.

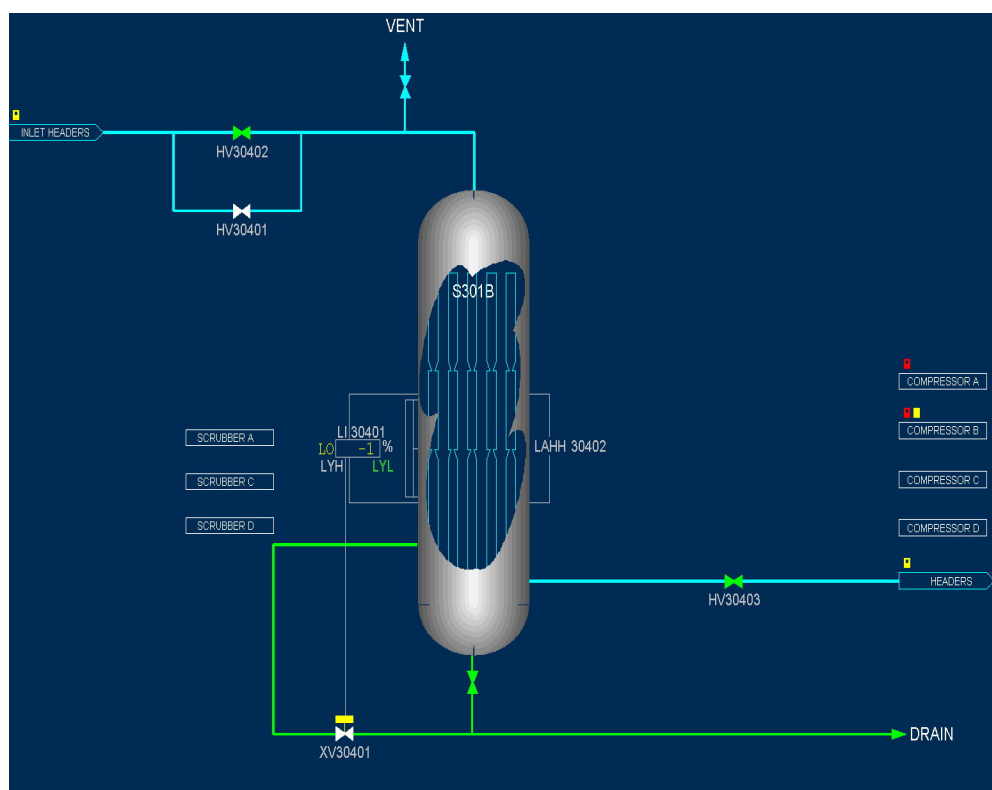
گاز وارد شده به اسکرابر، به وسیله سیکلو تیوبها دارای جریانی چرخشی می‌شود. این چرخش باعث ایجاد نیروی گریز از مرکز شده که در نتیجه آن ذرات و مایعات به طرف دیواره سیکلو تیوب پرتاب می‌شوند. این ذرات سپس در طول دیواره تیوبها حرکت کرده و از دو خروجی (خروجی مرحله اول و دوم) که به منظور خارج شدن این ذرات در دیواره تیوبها تعبیه شده است، خارج می‌شوند. ذرات جامد و مایعی که از تیوبها خارج شده‌اند، در ته اسکرابر جمع شده و سپس توسط شیر تخلیه‌ای که در آنجا تعبیه شده است، تخلیه می‌شوند. لازم به ذکر است که تخلیه این ذرات بر حسب سطح مایع جمع شده در ته اسکرابر صورت می‌گیرد. این سطح توسط سنسورهایی که سطح حداقل و حداکثر را تشخیص می‌دهند، شناسایی شده و بر این اساس، فرمان باز یا بستن به شیرهای تخلیه داده خواهد شد. مایعات جمع آوری شده از طریق شبکه تخلیه هیدرو کربنها به سمت چاه تخلیه هدایت می‌گردند.

²⁸ Cycle tube

در برخی اسکرابرها در جهت بالا بردن بازده و نتیجه بهتر ، علاوه بر عمل چرخش گاز داخل مخزن ، جداسازی ذرات ، بوسیله فیلترهای عمودی که بصورت لوله نصب شده اند انجام می گیرد تا عمل تصفیه بهتر انجام گیرد . ضمن اینکه برای اطمینان از جذب ذرات جامد و مایع باقی مانده ، در قسمت خروجی لایه ای توری مانند نصب می شود تا این مقدار ذرات باقی مانده را نیز به دام اندازد.

علاوه بر سیستم فیلترینگ اسکرابرها معمولاً در ورودی کمپرسور گاز از یک نوع فیلتر با نام strainer استفاده می شود تا مانع از ورود ذرات ریزی که از اسکرابر عبور کرده اند به داخل کمپرسور گاز شود.

✓ در نظر گرفتن اختلاف فشار دو طرف strainer از وظایف روزانه بهره بردار می باشد.



شکل ۳-۱: نمای شماتیک از یک اسکرابر گاز

شیرهای ورودی و خروجی اسکرابرها در زمان مورد نیاز ، آنها را از خط لوله سراسری و ارتباط با کمپرسورهای گاز جدا می کند . علاوه بر این ، شیر تخلیه گاز نیز در انتهای هدر ورودی در نظر گرفته شده است تا در زمانهای مورد نظر و اضطراری بتوان در سریعترین زمان ممکن ، گاز را تخلیه نمود. ضمن اینکه هر اسکرابر نیز مجهز به یک شیر تخلیه گاز دستی می باشد ، که به شبکه تخلیه گاز متصل می باشد. به منظور محافظت از اسکرابر در فشارهای بالا ، یک شیر اطمینان فشار^{۲۹} در بالای اسکرابر در نظر گرفته شده است. البته این شیر در صورتیکه فشار گاز اسکرابر بیش از حد بالا رود ، نیز عمل کرده و مقداری از گاز اضافی را تخلیه می نماید. نحوه نصب این اسکرابرها بگونه ای است که بدون توقف ایستگاه بتوان آنها را تعمیر و نگهداری کرد. وظایف بهره بردار در مورد اسکرابرها :

²⁹ Pressure Safety Valve

- ✓ بازدید روزانه
- ✓ در نظر داشتن اختلاف فشار دو طرف اسکرابر
- ✓ مسلط بودن به نحوه باز و بسته کردن شیرهای ورودی و خروجی و شیر تخلیه گاز و مایعات هیدروکربنی

توربوکمپرسورها

گاز تصفیه شده در اسکرابر ها ، وارد هدر ورودی واحدها شده ، جهت افزایش فشار از طریق شیر ورودی واحد به سمت کمپرسورهای گاز که بطور موازي نصب شده‌اند ، می رود. هر واحد توربوکمپرسور را میتوان به دو بخش توربین گاز و کمپرسور گریز از مرکز گاز تقسیم نمود که در زیر به طور مختصر از آنها و تجهیزات مربوطه می پردازیم.

هر واحد در این بخش از قسمت‌های زیر تشکیل شده است:

۱. يك توربین گازی (توربوکمپرسور) به عنوان محرك، همراه با سیستم‌های كمكي آن شامل؛ روغن روغنكاري، خنك كننده روغن، فیلتر هوای ورودی، سیستم آگزوز، سیستم كنترل و
۲. يك كمپرسور گاز از نوع گریز از مرکز
۳. يك خط برگشت گاز به منظور جلوگیری از سرچ كمپرسور گاز

هر توربین گاز از دو مجموعه پره مستقل تشکیل شده است . به توربین مرحله اول توربین فشار قوي (HPT)³⁰ گفته می‌شود ، که به روتور كمپرسور هوا متصل بوده و آن را می چرخاند و در ضمن باعث چرخش شفت تجهیزات فرعی نیز می‌شود. توربین مرحله دوم یا توربین فشار ضعیف (LPT)³¹ نیز كمپرسور گاز را می‌چرخاند. طراحی دو مرحله ای توربین‌ها، موجب عملکرد دو توربین در دورهای مختلف و دلخواه شده ، در نتیجه می توان بارگذاری دلخواهی را بر روی كمپرسور گاز نمود.

³⁰ High Pressure Turbine

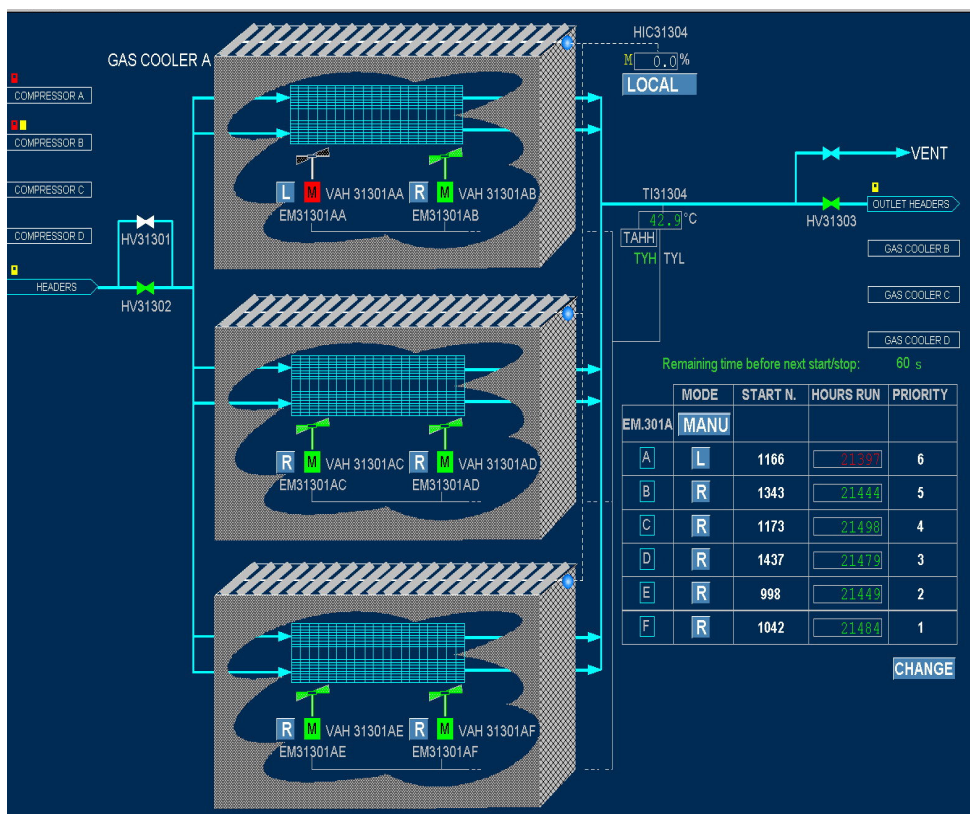
³¹ Low Pressure Turbine

اتوماتیک به شیر آنتی سرج فرمان باز شدن خواهد داد تا فشار و در نتیجه فلوی ورودی را تقویت نموده و از بروز این پدیده خطرناک جلوگیری نماید. در صورتیکه به هر دلیلی این شیر نتواند از سرج جلوگیری کند و یا در سرویس نیاید سیستمهای حفاظت از واحد ، فرمان توقف اضطراری را خواهند داد. در تمام طول کار کمپرسور ، دمای گاز ورودی و خروجی کمپرسور به منظور جلوگیری از بیش از حد گرم شدن کمپرسور ، اندازه گیری و کنترل می‌شود. در کمپرسورهای گاز از سیستم آببند گازی به منظور آببندی کمپرسور ، و در توربین گازی از سیستم هوا برای آببندی و خنک‌کاری استفاده می‌شود. در حالت استارت و توقف واحدها (توقف بصورت اضطراری و عادی)، مراحل تخلیه گاز ، از طریق UCP صورت می‌پذیرد. در حین استارت واحدها ، به منظور گازدار کردن کمپرسورها از شیر بای پاس شیر ورودی استفاده می‌شود. به دنبال توقف هر واحد از توربوکمپرسورها ، شیرهای ورودی و خروجی واحدها بسته ، شیر ضد سرج باز و شیر سوخت توربین نیز بسته می‌شود. در صورتی که یک توقف اضطراری به همراه فشارزدایی اتفاق افتد ، علاوه بر موارد فوق، گاززدایی واحدها از طریق یک شیر تخلیه که در بالا دست شیر خروجی کمپرسور قرار دارد، بطور اتوماتیک انجام می‌گیرد. به دلیل محدودیتهای خط لوله سراسری و البته مقاومت اتصالات توربو کمپرسور در خروجی هر کمپرسور چند اندازمگیر فشار مستقل، به منظور جلوگیری از افزایش فشار بیش از حد کمپرسور نصب شده است.

خنک کننده گاز

گاز پس از فشار دار شدن و گذر از شیر خروجی واحد ، وارد هدر خروجی واحدها شده ، سپس به سمت هدر ورودی خنک کننده هدایت می شود تا به دمای مطلوب برسد. به دلیل محدودیتهای موجود در متریال خط لوله سراسری و البته بالا بردن راندمان ، گاز فشرده خروجی واحدها را خنک می کنند .

این سیستم به چند قسمت مختلف ، جهت خنک کردن گاز خروجی از کمپرسور ها مجهز شده است. هر قسمت آن شامل چند فن خنک کننده است. تعداد قسمتها و در نهایت فن ها به تعداد توربو کمپرسورها و البته شرایط محیطی منطقه ای که ایستگاه در آن قرار دارد بستگی دارد.



شکل ۳-۳: نمای شماتیکی از خنک‌کننده‌های گاز

کولرهای گاز از نوع جریان اجباری می‌باشند. حداکثر دمای خروجی مجاز در حدود 50°C (بسته به شرایط منطقه) می‌باشد، که بوسیله یک عدد ترانسمیتر دما که در خروجی هر قسمت واحد خنک کننده نصب شده کنترل و بر همین اساس هم، فن‌ها بصورت اتوماتیک، روشن و خاموش می‌شوند. این کولرها در دو حالت اتوماتیک و دستی قابل استفاده هستند. در حالت اتوماتیک دمای پایین دست کولرهای گاز از طریق یک اندازه‌گیر دما اندازه‌گیری و کنترل شده، و بر اساس این مقدار فرمان استارت یا توقف موتورهای الکتریکی فن‌ها، به سوییچ‌های آنها فرستاده می‌شود. به منظور کارکرد یکسان فن‌های هر واحد، یک ترتیب در استارت و توقف فن‌ها از طریق سیستم کنترل و نظارت (SCS)، صورت می‌گیرد. اما در حالت دستی از اتاق کنترل و با فرمان بهره‌بردار می‌توان آنها را روشن یا خاموش نمود. کولرها را می‌توان از طریق دکمه^{۳۳}هایی که در محل قرار دارد نیز روشن و خاموش کرد. ضمناً هر یک از این فن‌ها دارای یک حفاظت در برابر ارتعاشات می‌باشند هرچند در طراحی این واحدها مود اتوماتیک^{۳۴} نیز در نظر گرفته شده است، اما با وجود کارآمدی سیستم کنترلی، واحدهای خنک کننده گازی با تصور به حداقل رساندن تعداد استارت‌ها و جلوگیری از روشن و خاموش شدن پی در پی واحدهای خنک‌کننده، به صورت دستی کنترل می‌شوند. در صورت افزایش بیش از حد دما، ترانسمیترهای دمای که در خروجی بنک‌ها قرار داده شده اند واحدها را متوقف می‌کنند. هر کدام از موتور فن‌ها بوسیله یک ارتعاش سنج در برابر لرزش بیش از حد محافظت شده اند. خنک کننده‌های گاز به دریچه‌هایی که میزان باز و بسته بودن آنها توسط بهره‌بردار بصورت اتوماتیک یا بصورت محلی تعیین می‌گردد، مجهز شده اند. چنانچه جهت تعمیرات یا کارهای متفرقه نیاز به از سرویس خارج کردن آنها باشد، می

^{۳۳} Push Button

^{۳۴} Automatic mode

توان توسط یک شیر بای پاس ، گاز را بدون وارد کردن به سیستم خنک کننده به خط خروجی ایستگاه منتقل کرد. در این حالت گاز بدون عبور از کولرهای گاز توسط خط بای پاس آن ، به خط لوله سراسری هدایت می شود. به دنبال توقف ایستگاه ، بخش کولرهای گاز از طریق بسته شدن شیرهای ورودی و خروجی هر واحد ، از ایستگاه و همچنین خط لوله سراسری جدا می شود. فشارزدایی اضطراری و اتوماتیک ایستگاه از طریق شیرهای تخلیه ای که در هدر خروجی کولرها قرار دارد، صورت می گیرد. همچنین فشارزدایی هر واحد از کولرها را می توان به صورت دستی و از طریق شیرهای که در خط ورودی گاز قرار دارد ، انجام داد. در این حالت گاز به شبکه تخلیه هدایت می شود.

وظایف بهره بردار در مورد سیستم خنک کننده به شرح زیر است:

- ✓ نظارت بر حسن عملکرد سیستم طی بازدید روزانه
- ✓ کنترل کردن مداوم دمای گاز خروجی از واحد خنک کننده
- ✓ داشتن تسلط کامل به نحوه باز و بسته شدن شیرهای ورودی و خروجی و شیر بای پاس
- ✓ دانستن موقعیت شیرهای تخلیه اضطراری
- ✓ بازدید روزانه از فن ها تا در صورت داشتن لرزش های غیر عادی متوقف شوند.

اجزای کمکی ایستگاه

سیستم تامین هوای ابزار دقیق ایستگاه

دو عدد کمپرسور هوا (یکی در سرویس و دیگری آماده بکار) ، یک مجموعه خشک کننده و یک مخزن ذخیره هوا ، وظیفه تامین هوای فشرده ایستگاه را به عهده دارند . هوای ورودی به کمپرسور فشرده شده ، سپس از خشک کننده های هوا عبور کرده و وارد مخزن ذخیره هوا می شود.

مصارف هوا در ایستگاه عبارتند از:

۱. به عنوان عملگر شیر آنتی سرج توربوکمپرسورها و شیر ریسایکل ایستگاه
 ۲. به عنوان عملگر دمپر خنک کننده روغن³⁵ توربوکمپرسورها
 ۳. سیستم آب بندی خشک³⁶ کمپرسور گاز
 ۴. خنک کاری سنسورهای ارتعاشات
 ۵. تمیز کاری فیلترهای هوای ورودی توربوکمپرسور (سیستم پالس جت³⁷)
- هر کمپرسور هوا شامل یک کمپرسور که می تواند از نوع رفت و برگشتی و یا پیچشی باشد و موتور الکتریکی محرك آن، جداکننده روغن³⁸، خنک کننده ها و کنترل کننده های وابسته، به همراه پانل کنترل محلی، باشد. کمپرسور هوا را می توان بصورت دستی و از طریق شستی های روشن/خاموش که بر روی پانل محلی قرار دارد و یا بصورت کنترل از راه دور و از طریق SCS ، استارت و متوقف کرد. وظایف منطقی کمپرسورها بصورت اتوماتیک و از طریق سیستم مدیریت کمپرسور، کنترل می شود. ولی اطلاعات دقیق تر راجع به روغن ، فیلترها، ساعت کارکرد و آلام³⁹ های آنها، در محل قابل مشاهده است. این کمپرسورها (بوسیله فشار خروجی کنترل شده آنها) را می توان توسط سیستم کنترل ایستگاه از اتاق کنترل یا بصورت دستی در محل، استارت و استاپ نمود چنانچه در حالت کنترل اتوماتیک بر اساس احساس نیاز، فرمان استارت صادر شود ،

³⁵Oil cooler damper

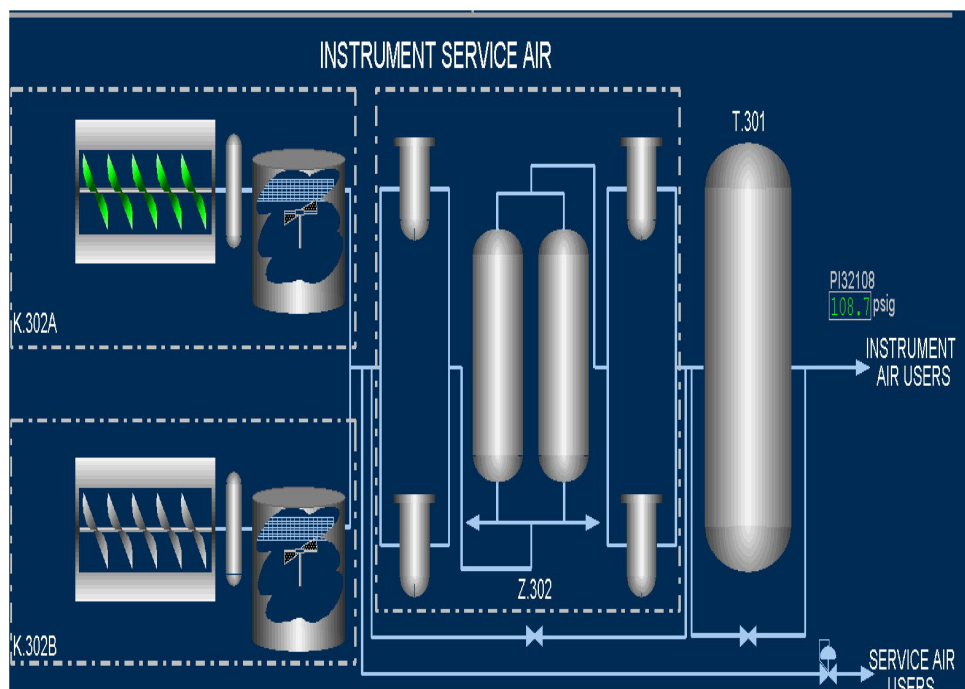
³⁶Dry seal gas

³⁷Puls jet

³⁸Oil Separator

³⁹Alarm

ولی به هر دلیلی روشن نشود و یا اینکه فشار خروجی از حد مجاز تعیین شده کمتر گردد، کمپرسور هوای کمکی روشن می شود. کمپرسور هوا در محل نیز، بوسیله پانل کنترل محلی تحت کنترل هستند. شرح وضعیت کمپرسور، آلام ها و توقف ها، روی این پانل قابل مشاهده اند. رطوبت هوای خروجی از کمپرسور بوسیله سیستم خشک کننده هوا⁴⁰ گرفته می شود. نرخ جریان هوایی که این سیستم بصورت خشک تولید می کند بسته به نوع طراحی ایستگاه و توربوکمپرسور دارد. زیرا در برخی طراحی ها هوای مورد نیاز آب بندی کمپرسور گاز از کمپرسور هوا استفاده شده که در این صورت مقدار هوادهی آن باید بیشتر باشد و در برخی دیگر، این هوا از هوای یکی از مراحل کمپرسور محوری توربین گاز تامین می شود که در این صورت کمپرسور محوری توربین گاز مربوطه بزرگتر خواهد بود. ضمن اینکه طبیعتاً مقداری از توان توربین گاز، صرف تامین این هوا خواهد شد. مخزن هوا نیز طوری طراحی می گردد تا در صورت قطعی برق ایستگاه، برای مدت زمان قابل قبولی، توان تغذیه هوای کل سیستم را داشته باشد. چند عدد شیر اطمینان⁴¹ در خروجی کمپرسورها نصب شده تا در مقابل فشار بیش از حد از سیستم، حفاظت نماید. این شیر ها در خروجی خشک کننده و روی مخزن ذخیره هوا تعبیه شده است. در خروجی این مخزن نیز یک فشار سنج به منظور مشاهده فشار شبکه هوای ابزار دقیق، تعبیه شده است. در صورتیکه این واحد از کار بیفتد و پس از مصرف ذخیره هوای مخزن، ایستگاه با توقف اضطراری از نوع اول روبرو خواهد شد.



شکل ۳-۴: نمایی شماتیک از واحد تولید هوای فشرده

وظایف بهره بردار در قبال واحد تولید هوای ابزار دقیق ایستگاه:

✓ بازدید روزانه و نظارت بر حسن عملکرد واحد

⁴⁰ Air dryer

⁴¹ Safty valve

- ✓ تحت کنترل داشتن مداوم فشار هوای خروجی واحد
- ✓ کنترل دما و فشار روغن کمپرسور ایستگاه

مرکز تقلیل فشار

این واحد جهت تامین گاز مصرفی ساختمان اتاق کنترل، سوخت توربین، سوخت مولد اضطراری، سوخت بویلر^{۴۲} ها، گاز راه انداز توربین انبساطی (در صورت وجود توربین انبساطی) و گاز عمل کننده شیرها^{۴۳} (در صورتیکه ایستگاه دارای سیستم جداگانه ای جهت بهره برداری از شیرها باشد) طراحی می شود و به فراخور آن می تواند شامل قسمت های زیر باشد: اسکرابر گاز، فیلتر گاز، سیستم گرم کننده گاز (بویلر و مبدل حرارتی یا هیتر های الکتریکی)، هیتر الکتریکی گاز (جهت گرم کردن گاز مصرفی مولد)، فشار شکن و ابزارآلات اندازه گیری.

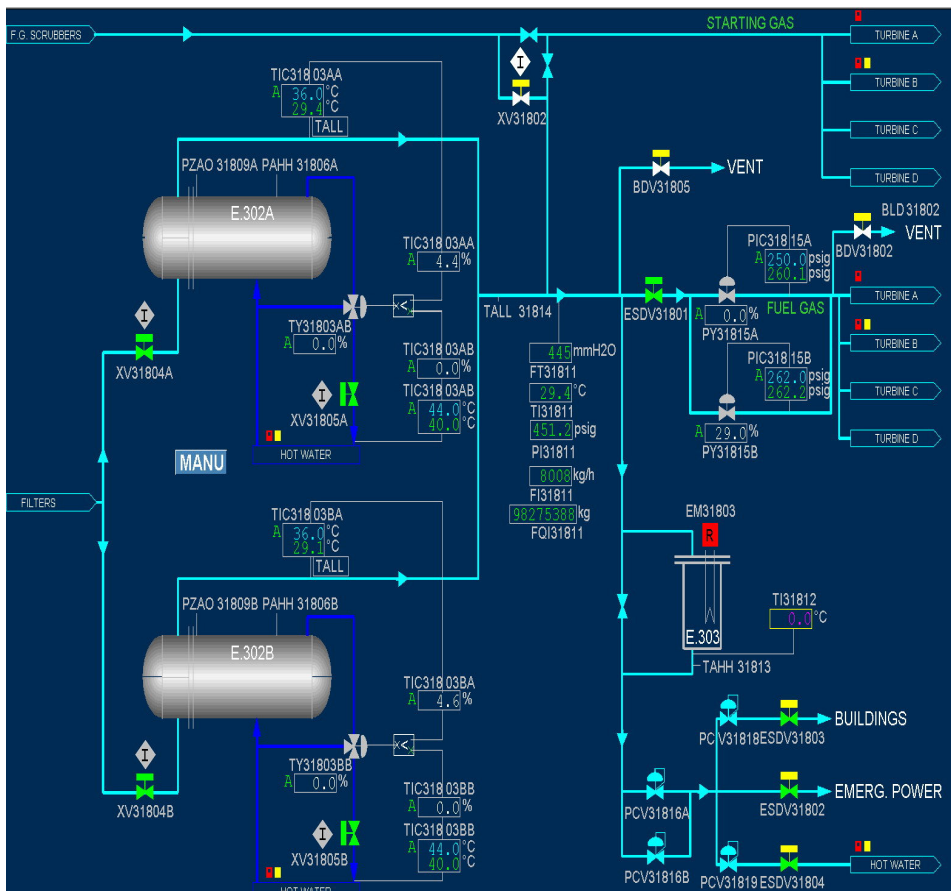
طراحی مرکز تقلیل فشار در ایستگاه های مختلف، بدلیل تفاوت ساختار توربین های گاز و طراحی پروسه ورود و خروج گاز ایستگاه، متفاوت است ولی اصول کلی آن در تمامی ایستگاه ها بر مبنای تجهیزات مختلفی که گازسوز هستند و تامین فشار و فلوی مورد نیاز این تجهیزات می باشد. بنابراین ابتدا این تجهیزات و فشار و فلوی مورد نیاز آن ها تعیین شده سپس طی مراحل مختلف و پس از تصفیه گاز ورودی به مرکز تقلیل (زیرا گاز مورد استفاده این قسمت، از ایستگاه و در نتیجه اسکرابر ورودی آن نمی گذرد) توسط شیرهای کنترلی و طی مراحل متعدد فشار گاز به اندازه مورد نیاز آن شکسته شده و برای مصارف تعیین شده فرستاده می گردد.

⁴²Boiler

⁴³Actuating gas



- 39 -



شکل ۳-۶: نمای شماتیکی از قسمت انتهایی مرکز تقلیل فشار

نکاتی که بهره بردار باید بداند:

همانطور که گفته شد پروسه مرکز تقلیل فشار در ایستگاههای مختلف ، متفاوت بوده و این تفاوت در تعداد و البته فشار مورد نیاز مصرف کننده ها می باشد. ولی نکات زیر تقریباً در تمامی آنها یکسان میباشد.

بهره بردار باید:

- ✓ تمام موارد منتهی به توقف اضطراری در مرکز تقلیل را بداند.
- ✓ بر اختلاف فشار اسکرابر و فیلترها مرتباً نظارت نماید تا در زمان لازم اقدام به تخلیه مایعات و ذرات جمع شده آن بپردازد. بر روی هر فیلتر يك سنسور سطح سنج و يك نشانگر اختلاف فشار نصب شده است که مقادیر آن در اتاق کنترل و همچنین بصورت محلی قابل مشاهده است. مایعات اضافی جمع شده در فیلترها توسط ولوهای تخلیه به شبکه تخلیه هدایت می شود.
- ✓ بر عملکرد صحیح سیستم گرم کننده و دمای گاز نظارت نماید.
- ✓ در صورت وجود بویلر و مبدل بر حسن عملکرد و تنظیمات مربوطه نظارت نماید. مقدار جریان آبی که می بایست از مبدل عبور کند توسط یک کنترل کننده دما روی یک ولو سه راهه در خروجی مبدل تنظیم می شود.
- ✓ شیرهای مختلف را شناخته و به نحوه عملکرد آنها چه بصورت اتوماتیک و چه بصورت دستی تسلط کامل داشته باشد.

✓ در شرایط اضطراری و جهت تامین گاز مورد نیاز مولد اضطراری ، شیري تعبیه شده است که گاز را بدون عبور از فیلتر گاز و مبدلها به مولد می‌رساند. با باز شدن این شیر، گاز بلافاصله و قبل از آنکه فیلترها و مبدل ها در سرویس قرار گیرند، وارد مولد اضطراری می‌شود.

سیستم گرم کننده گاز

از آنجاییکه سوخت مورد نیاز توربین گاز از مرکز تقلیل فشار و پس از آنکه فشار آن به اندازه مورد نیاز رسید ، تامین می گردد و چون دمای این گاز در اثر کاهش فشار در چند مرحله ، پایین خواهد آمد لذا در فصول سرد سال می بایست این گاز را گرم نمود تا از یخ زدگی احتمالی آن جلوگیری نمود.

دو روش متداول جهت بالا نگه داشتن دمای گاز سوخت توربین و همچنین مولد برق وجود دارد که به شرح زیرند:

◀ استفاده از سیستم هیتر الکتریکی: در این روش از یک سری

المنتهایی که به دور لوله های مربوطه می پیچند استفاده می شود.

◀ گرم کردن آب و استفاده از یک مبدل حرارتی در جهت تبادل دمایی

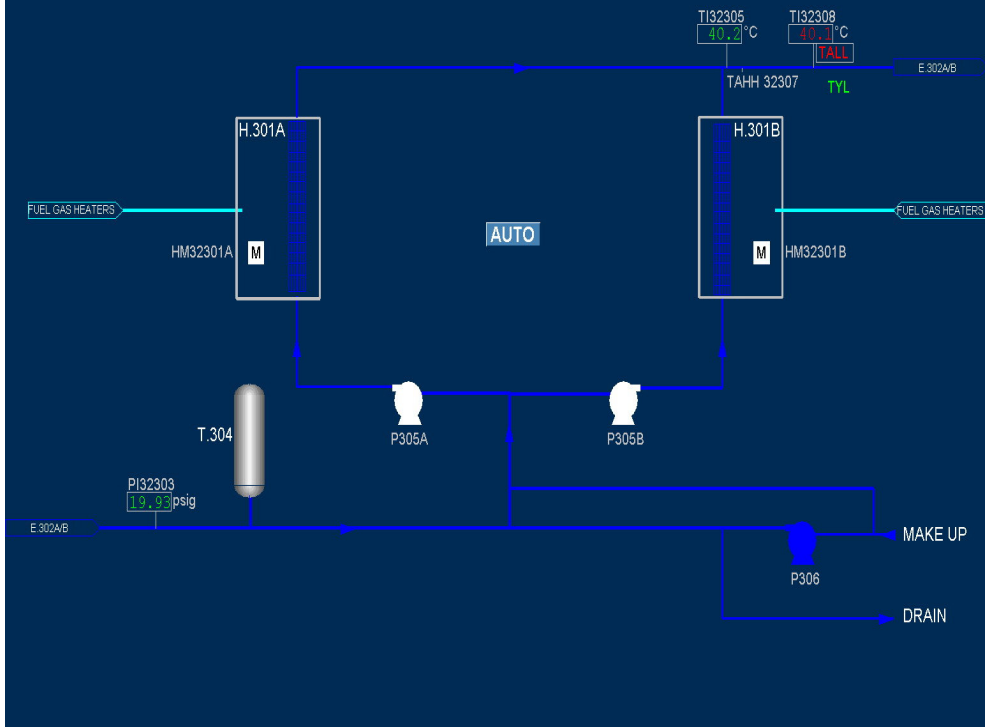
با گاز: در این روش برای گرم نمودن آب از بویلر استفاده شده و

سپس آب گرم توسط پمپی به مبدل حرارتی می رسد و در آنجا با

گازی که وارد مبدل شده تبادل گرمایی می نماید.

معمولا واحد گرم کننده آب از دو بویلر ، دو پمپ گریز از مرکز سیرکوله آب ، يك مخزن انبساطي⁴⁴ و يك پمپ روتاری جهت هواگیری و تامین آب تشکیل شده است.

⁴⁴Expansion drum



شکل ۳-۷: نمای شماتیکی از واحد تولید آب گرم

از آنجاییکه دو پمپ سیرکوله آب با یکدیگر کوپل شده‌اند، استارت و توقف آنها همراه با یکدیگر (بصورت محلی و از طریق دکمه‌های مربوطه و یا از طریق SCS) صورت می‌گیرد. فشار سوخت بویلر، نرخ جریان آب، دمای آب ورودی و خروجی بویلر توسط سنسورهای مربوطه قابل مشاهده و کنترل می‌باشند. جهت مقابله سیستم در برابر خطر انبساط حرارتی ناشی از تغییرات دما، مخزن انبساطی و شیر اطمینان‌های دما در خروجی بویلر طراحی و نصب گردیده است.

وظایف بهره‌بردار در قبال سیستم گرم‌کننده گاز:

- ✓ نظارت بر حسن عملکرد سیستم طی بازدید روزانه
- ✓ کنترل مداوم دمای خروجی بویلر
- ✓ کنترل فشار سیکل آب
- ✓ تسلط داشتن به روشن و خاموش نمودن بویلر و شیرهای مربوطه از طریق دستی
- ✓ تسلط داشتن به نحوه آب زدن سیکل بویلر

برق ایستگاه

جهت درک بهتر خواننده محترم سیستم برق ایستگاهها بوسیله شکلهای شماتیک زیر توضیح داده می‌شود. برق توسط دو خط 20KV وارد قسمت فشار قوی ایستگاه شده، دوعدد ترانسفورماتور 20KV در ورودی این بخش قرار دارد که دارای دو بریکر ورودی دو خط Dj_1 و Dj_2 و یک عدد Dj_3 Bus tie برای قطع ارتباط میان دو خط و یک عدد سکسیونر می‌باشد. شکل زیر چگونگی قرارگرفتن این بریکرها را در کنار هم نشان می‌دهد. حال این برق از طریق سه شاخه و سه عدد بریکر (Dj_4 , Dj_5 , Dj_6) به

قسمت فشار ضعیف رسیده و پس از گذشتن از سه بریکر فوق وارد یک شمش سراسری شده و بوسیله سه عدد ترانسفورماتور کاهنده از 20KV به 380V برای مصارف اجزای توربوکمپرسور تبدیل می شود. سه عدد بریکر های Dj_8 , Dj_9 , Dj_{11} برق را پس از ترانسفورماتورها وارد شمش دیگری کرده، توسط دو عدد بریکر Dj_{12} , Dj_{13} به سه بخش مختلف به نام های Bus A, Bus B, Bus C تقسیم می شوند که آنها با یکدیگر توسط بریکرهای Dj_{12} (Bus tie A/C) و Dj_{13} (Bus tie B/C) در ارتباطند. این بریکرها در صورت عمل نمودن رله های Under voltage و یا قطعی یکی از خط ها، مسیر عبور جریان را عوض می کنند. اگر چه هم Bus A و هم Bus B هرکدام به تنهایی قادرند برق تمام ایستگاه را تأمین کنند ولی بهتراست همواره از یکی از آنها استفاده شود و مصرف کننده های ایستگاه بین آن دو تقسیم شوند. مصرف کننده های زیر هرکدام بوسیله یک استارتر در قسمت فشار ضعیف برقرار می شوند: کمپرسورهای هوا، باتری شارژرها، خنک کننده های گاز، برق اتاق کنترل، روشنایی محوطه و ساختمان ها، ساختمان اداری، واحد UPS، مرکز کنترل موتورها، بانک خازنی و...

سیستم مدیریت توان و مولد اضطراری

قابلیت نظارت و کنترل بر کلیه بریکرهای موجود در اتاق فشار قوی، مرکز کنترل موتور (MCC) و همچنین مولد اضطراری⁴⁵ از طریق سیستم مدیریت توان (PMS) امکان پذیر می باشد. از این سیستم می توان برای باز یا بسته نمودن بریکرها و یا مشاهده اطلاعات جریان عبوری از بریکرهای اصلی استفاده کرد.

سیستم "PMS" هر ده دقیقه خود را چک نموده و اطلاعات را ثبت می کند. به طور کلی این برنامه، قسمت های اصلی تأمین کننده برق ایستگاه را به یکدیگر مرتبط می نماید، تا در صورت بروز مشکلات در سیستم و یا قطع ناگهانی برق به صورت خودکار آرایش بریکرها را به گونه ای تغییر دهد که در جریان برق ایستگاه وقفه ای پیش نیاید. به عنوان مثال در صورت قطع برق یکی از خطوط سراسری این سیستم رابط بین دو خط (Dj_3) را متصل نموده و هر دو شاخه فرعی را برقرار می نماید. در صورتی که هر دو خط شبکه سراسری دچار قطعی برق شود، این سیستم ورودی هر سه ترانسفورماتور 20Kv/380v را قطع کرده و توسط یک آلارم اپراتور را مطلع می سازد. در همین لحظه سیستم اقدام به استارت مولد اضطراری می نماید.

مولد برق اضطراری

جهت تغذیه برق ایستگاه در زمان قطعی از یک مولد برق اضطراری استفاده شده است. در صورتیکه مولد در سرویس قرار بگیرد بریکر Dj_{14} بسته شده، برق وارد باس C شده و آماده تغذیه دو باس دیگر می گردد و سیستم مدیریت برق ایستگاه (PMS) به بریکر Dj_{12} فرمان بسته شدن داده، هر سه باس یکی می شوند در این زمان هر سه بریکر خروجی ترانسفورماتور ها باز می باشند.

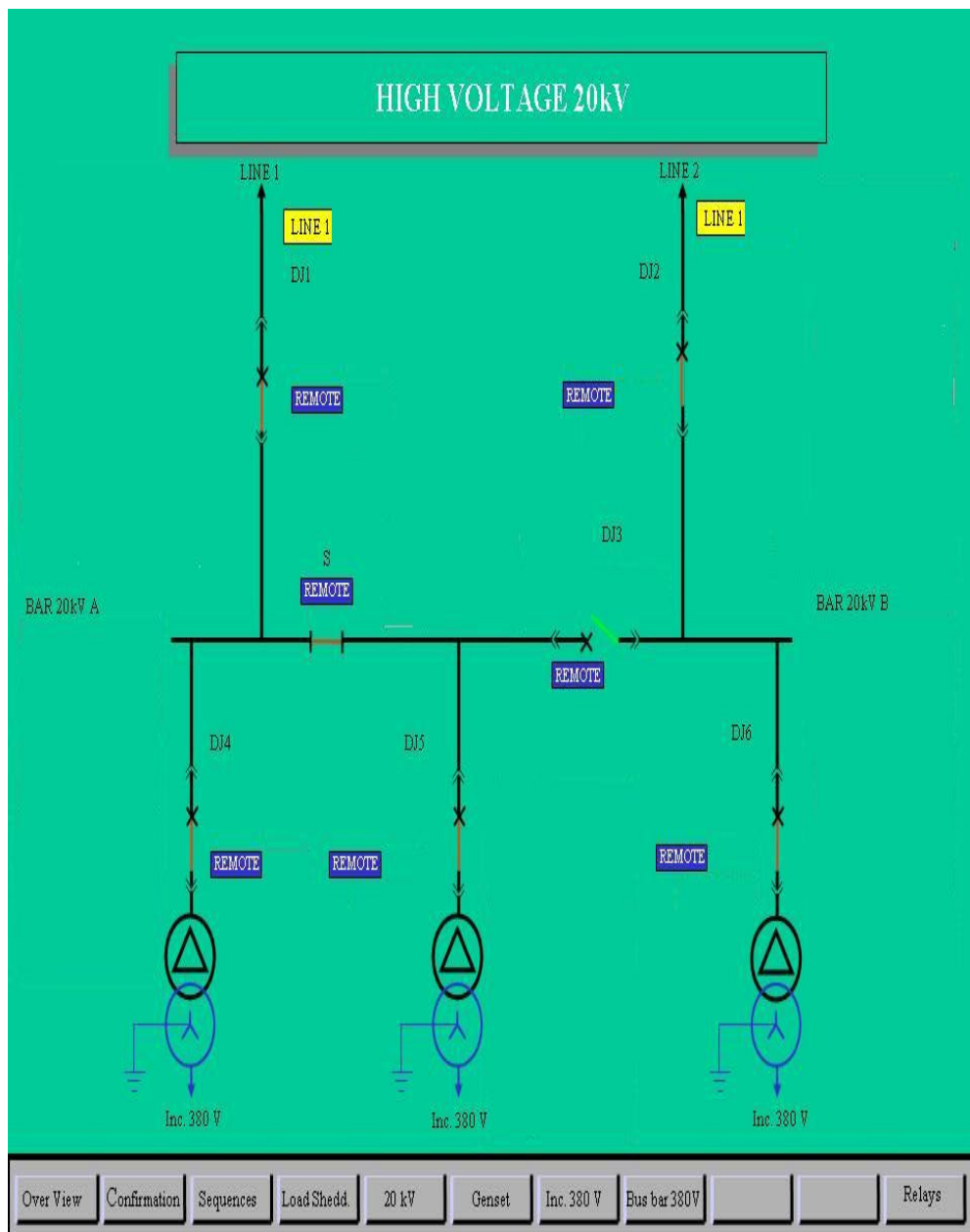
برق 380/220 تغذیه قسمت های زیر را از طریق دو خط بر عهده دارد:

- ◀ توربوکمپرسورها
 - ◀ MCC کولرهای گاز
 - ◀ مرکز تقلیل فشار
 - ◀ تاسیسات مربوط به ساختمان های مختلف تغذیه ابزار آلات
- کنترلی از طریق UPS، و بصورت 220 Vac و 110 Vdc می باشد.

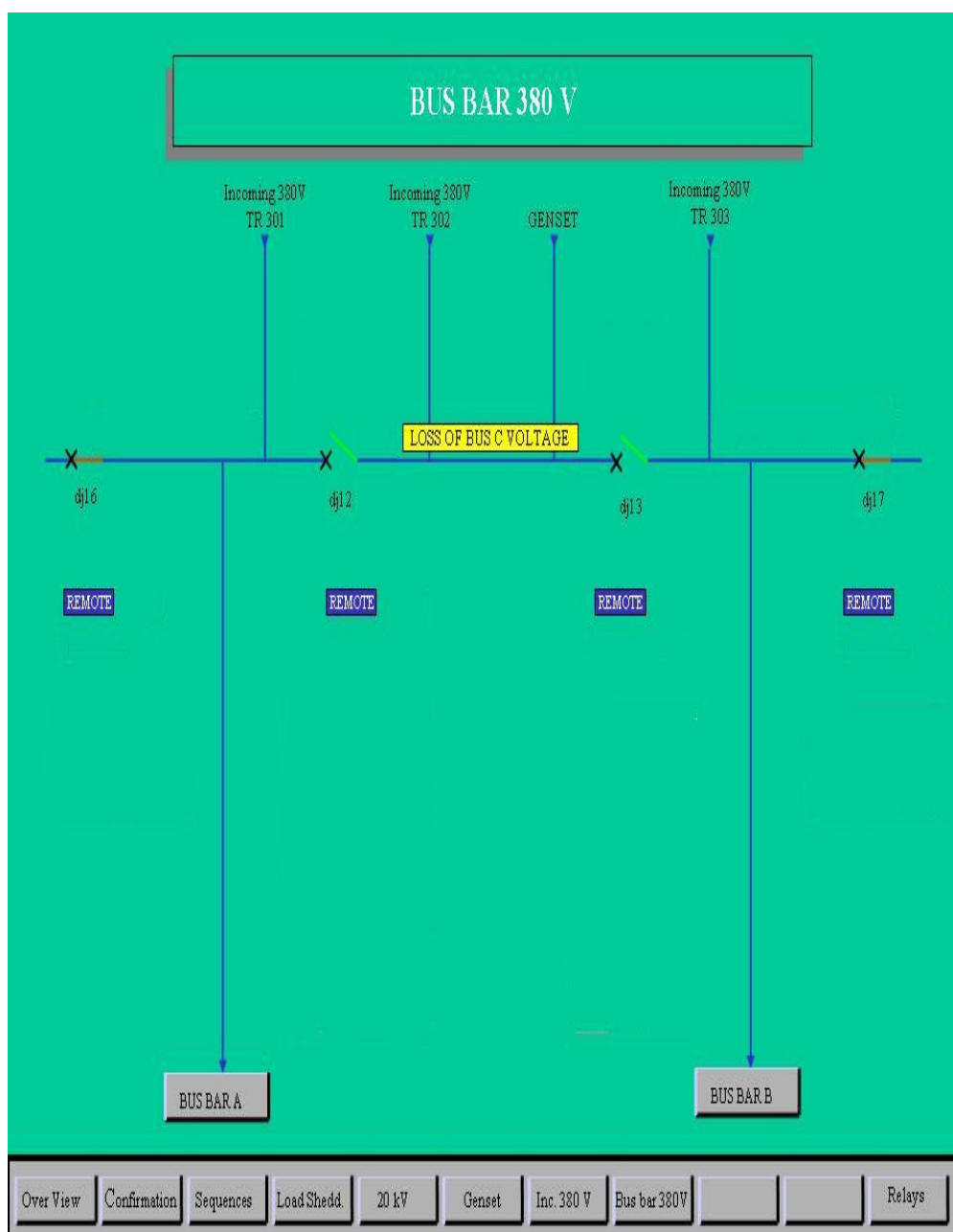
در موقع قطع و یا اشکال در سیستم برق، سیستم مدیریت توان (PMS) مدار سه ترانسفورماتور را باز کرده و توسط یک آلارم بهره بردار را از این موضوع آگاه می سازد.

⁴⁵Emergence Gas Engine

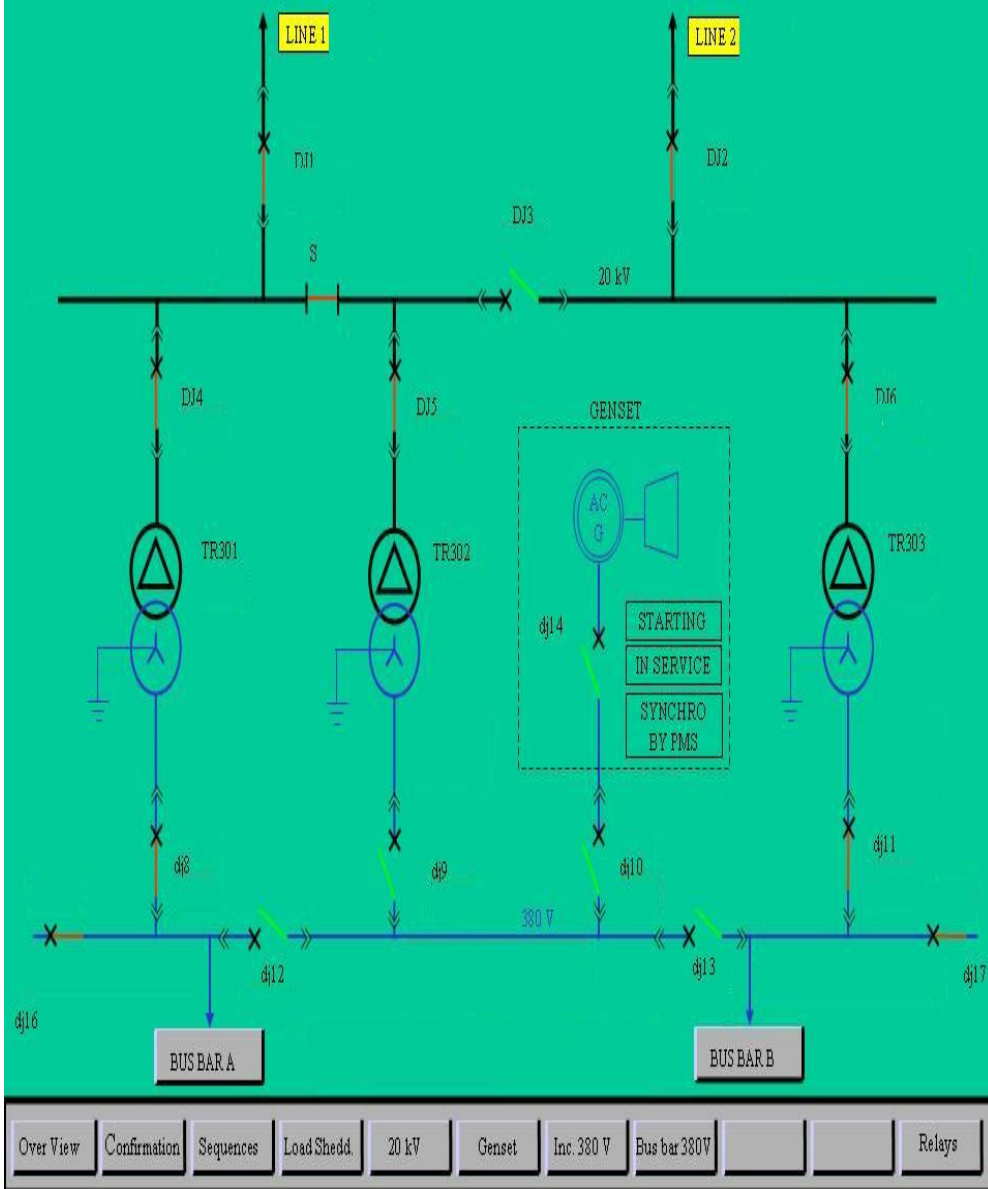
مولد به هنگام ارسال فرمان استارت از طریق بهره بردار و یا از طریق سیستم PMS، راه اندازی خواهد شد. سپس سرعت گرفته تا به فرکانس و ولتاژ قابل قبول برسد. بارگذاری مولد می تواند توسط بهره بردار صورت بگیرد که در این حالت مولد در بارگذاری کمتر، سریع تر به فرکانس قابل قبول می رسد. در حالت اتوماتیک، بارگذاری بصورت اتوماتیک و بر اساس برنامه تنظیم شده در سیستم اتوماتیک آن، صورت می گیرد.



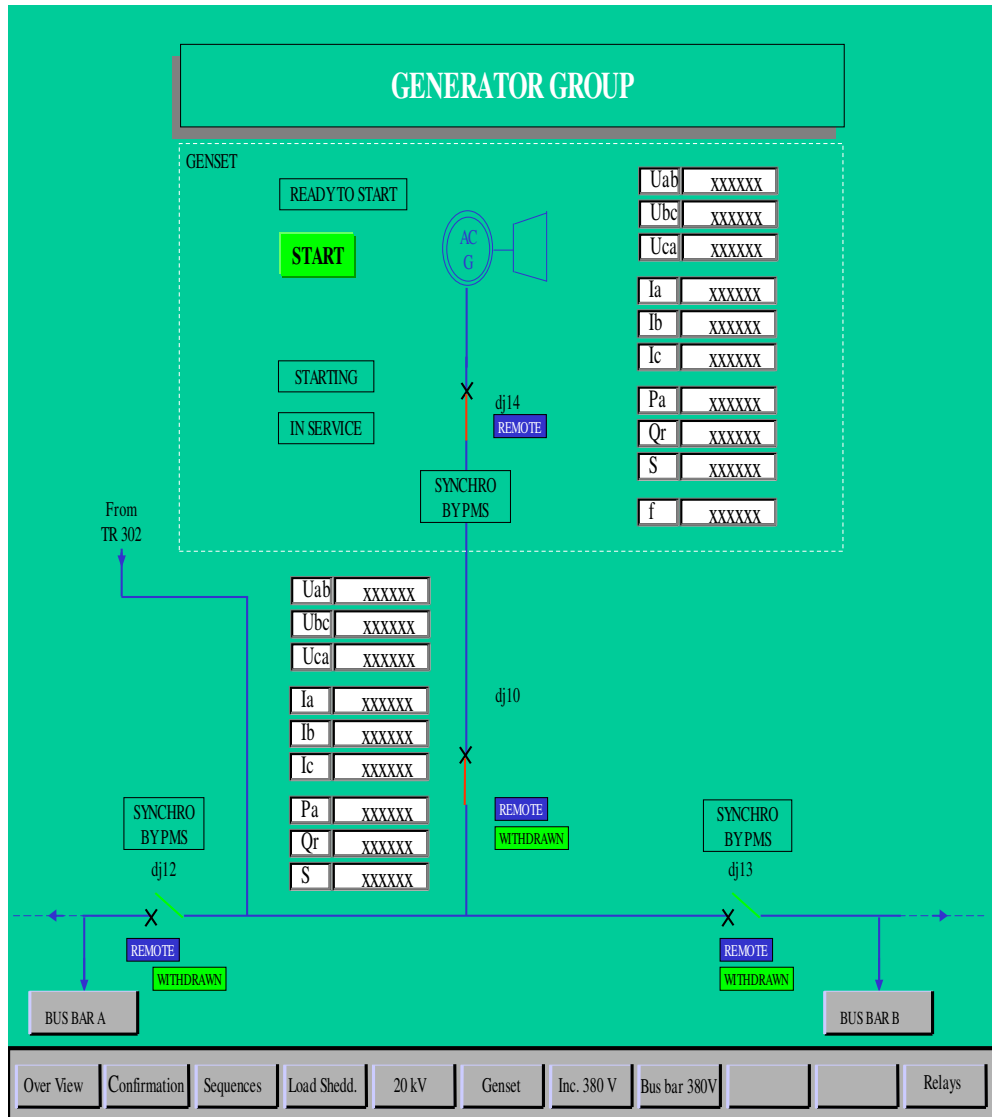
شکل ۳-۸: نمایی از ورودی برق ۲۰ KV ایستگاه و سه ترانسفورماتور که خروجی آنها ۳۸۰ V می باشد



شکل ۳-۹: نمایی از خروجی ترانسفورماتورها و ورود برق ۳۸۰ V به BUS A و BUS B



شکل ۳-۱۰: صفحه اصلی سیستم PMS



شکل ۳-۱۱: نمایی شماتیک از بریکرها و سیستم برق رسانی مولد اضطراری

سیستم حفاظت از اتاق مولد

در زمان کارکرد مولد می بایست توده‌ای از هوا در این اتاق جریان داشته باشد. این جریان هوا باعث خنک شدن قسمت‌های گرم مولد می‌شود. این سیستم تهویه به طور اتوماتیک با دمای هوای اتاق روشن و خاموش می‌شود. البته بطور دستی نیز می‌توان آن را (روشن و خاموش) کنترل نمود. این سیستم دارای فن مکنده‌ای می‌باشد که با روشن شدن آن، در طرف دیگر اتاق همزمان یک دریچه باز می‌گردد، تا هوا همیشه در جریان باشد. یک عدد سنسور تشخیص دود جهت ارسال آلام و توقف واحدها در اتاق مولد نصب شده است اگر این سنسور فعال گردد منجر به توقف اضطراری می‌شود در این هنگام تمام بادگیرهای اتاق مولد بسته شده و فن موجود در اتاق متوقف می‌شود و سیگنال آلام آتش فعال می‌شود یک عدد سنسور گاز یاب در این اتاق وجود دارد که در صورت حس گاز در حدود 20% LEL موجب توقف اضطراری می‌شود تمام بادگیرها باز می‌شوند و فن تهویه با آخرین سرعت شروع به چرخش می‌کند تا گازها را خارج کند و سیگنال آلام اولیه گاز فعال می‌شود. با حس مقدار گاز در حدود 40% LEL تمام

بریکرهای AC باز می شوند بادگیرها باز می مانند و فن تهویه خاموش می شود فقط برق 24V DC جهت فعال بودن سیستم مانیتورینگ باقی می ماند و سیگنال آلام گاز فعال می شود

سیستم تولید توان بدون قطعی (UPS)⁴⁶

این سیستم به منظور تأمین توان مطمئن برای پشتیبانی از سیستم های کنترلی، روشنایی اضطراری و مدار فرمان استارترها و بریکرهای موجود در ایستگاه پیش بینی شده است. برق ورودی این سیستم از یکی از بریکرهای فرعی در اتاق فشار ضعیف تأمین می شود. این سیستم از دو قسمت کلی تشکیل شده است.

الف- تهیه برق ۲۲۰V.AC بدون نوسان: در این قسمت جریان متناوب ۳۸۰V ابتدا به ۲۲۰V.AC تبدیل می شود و با استفاده از یک یکسوکننده⁴⁷ به جریان مستقیم تبدیل شده و مجدداً با استفاده از یک معکوس کننده⁴⁸ به جریان متناوب ۲۲۰V تبدیل می شود. خروجی این قسمت برق ۲۲۰V.AC بدون نوسان خواهد بود که جهت سیستم اندازه گیری و کامپیوترها، پائل کنترل توربین و تجهیزات کمکی (UCP) و دیگر مصارف استفاده می شود. باتریهای این قسمت در صورت قطع برق به مدت چند ساعت توان لازم را تأمین می نمایند.

ب-تهیه برق ۱۱۰V. DC برای تغذیه سیستم کنترل ایستگاه (SCS)، سیستم تشخیص آتش و گازیاب (F&G)، سیستم توقف اضطراری (ESD) شیرهای کنترل، روشنایی اضطراری و همچنین برای تغییر وضعیت کلیه بریکرهای موجود. باتری های این قسمت در صورت قطع برق به مدت مشخصی توان لازم را تأمین می نمایند. در این اتاق علاوه بر تجهیزات فوق، برای هر یک از چهار واحد توربوکمپرسور به صورت جداگانه، یکسوسازهای مربوط به شارژرهای باتری⁴⁹ و یکسوسازهای مربوط به سرویس دهی وجود دارد. باتری شارژر با تهیه برق ۱۱۰V.DC فقط برای شارژ باتری ها استفاده می-شود و (Service Rectifiers) هم با تهیه برق ۱۱۰V.DC توان مورد نیاز مصرف کننده ها را تأمین می نماید. چنانچه یکی از این دو از سرویس خارج شود، دیگری علاوه بر انجام وظایف خود کار یکسوساز دیگر را نیز انجام می دهد. برق این قسمت برای تجهیزات واحد که با برق مستقیم ۱۱۰V کار می کنند. باتری های این قسمت نیز در صورت قطع برق به زمان مورد نیاز، توان لازم را تأمین می نمایند.

شبکه تخلیه هیدروکربن های مایع

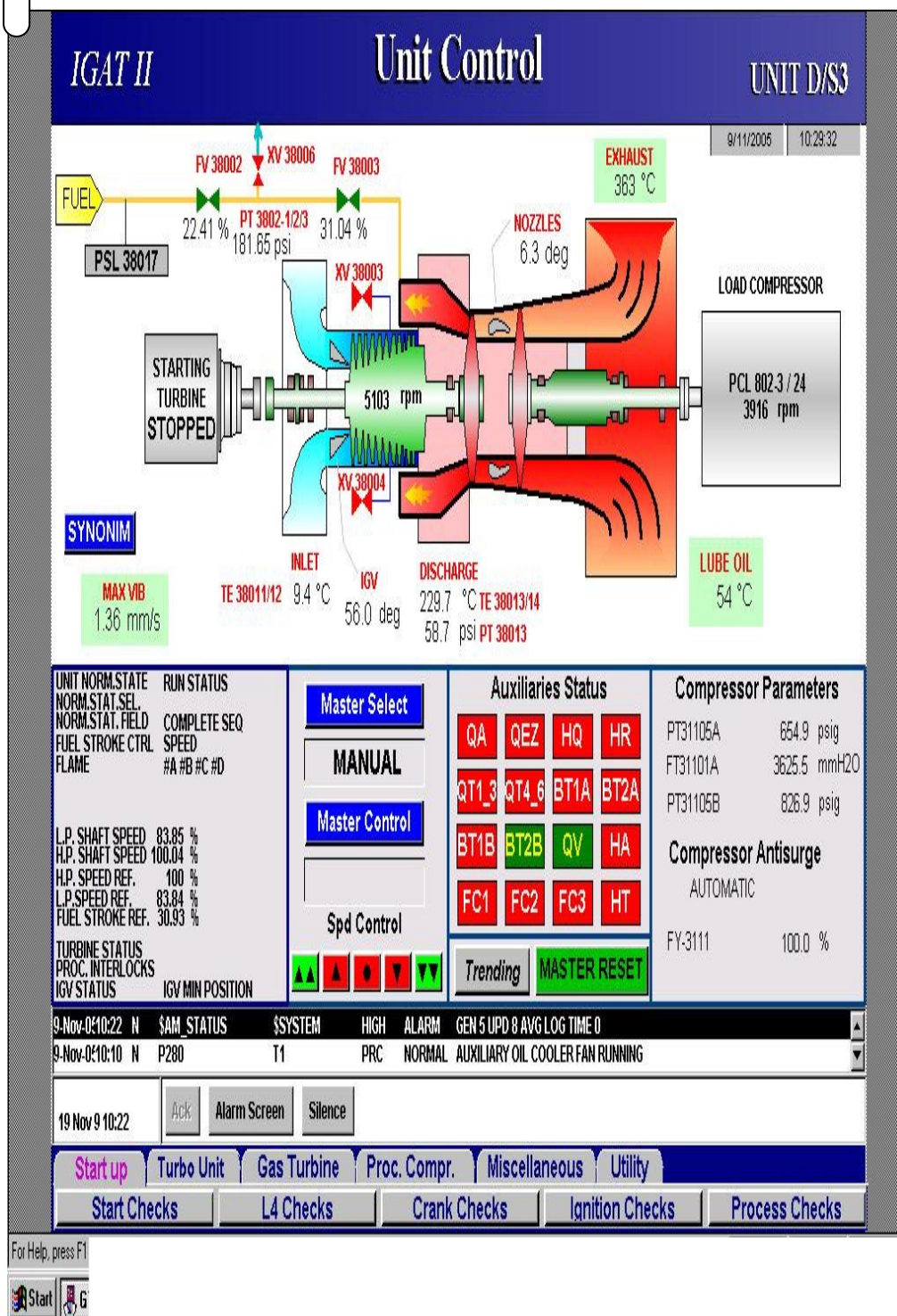
شبکه تخلیه ایستگاه شامل دو هدر برای جمع آوری هیدروکربن های مایع و یک چاه تخلیه به منظور تخلیه مایعات جمع آوری شده، می باشد. هدرهای جمع آوری کننده مایعات، هیدروکربن های مایع را از اسکرابرهای ورودی ایستگاه و همچنین اسکرابر و فیلترهای موجود در مرکز تقلیل فشار جمع آوری کرده و به سمت چاه تخلیه هدایت می کنند. این هدرها و همچنین خطوط مربوط به شبکه تخلیه، به منظور جلوگیری از یخ زدگی و رسوب در زمستان، دارای عایق حرارتی و گرم کننده های دنباله ای می باشند.

⁴⁶Uninterrupted Power System

⁴⁷ Rectifier

⁴⁸ Inverter

⁴⁹Battery Chargers



فصل چهارم

توربین

مبانی اولیه توربین گاز

اصول عملکرد توربین

ساختار توربین گاز

توربین های گازی در ایستگاههای تقویت فشار

راه اندازی توربین گازی ایستگاه

کمپرسور هوای توربین گازی

سیستم گاز سوخت توربین

سیستم احتراق با خاصیت نشر امواج در سطح پایین

سیستم روغن کاری و روانکاری

سیستم تهویه

سیستم هوای آب بندی و خنک کاری

هوای آگزوز

فصل چهارم

توربین

گاز جهت متراکم و فشاردار شدن ، وارد ایستگاههای تقویت فشار گاز می شود و این عمل توسط کمپرسور گاز انجام می گیرد . با توجه به توضیحات فصل بعد، کمپرسور گاز ایستگاهها از نوع گریز از مرکز بوده و با چرخش به دور مرکز خود گاز را فشرده می نماید. لذا برای چرخاندن کمپرسور گاز ، آنهم با دور و توان بالا ، به وسیله ای احتیاج داریم تا توان و قدرت کافی جهت چرخش کمپرسور گاز ایجاد نماید. دو روش زیر امکان فوق را برایمان فراهم می آورند.

- ◀ استفاده از الکترو موتور: در این روش می توان کمپرسور گاز را به وسیله یک میله فلزی (روتور) به الکتروموتوری قوی وصل نمود تا توان و سرعت لازم را به آن منتقل نماید، جهت اجرای روش فوق به شبکه برق مطمئن و مناسبی نیاز است که مهمترین دلیل عدم اجرای روش مذکور در کشورمان نیز می باشد.
- ◀ استفاده از توربین گاز: این روش متداول تر بوده و پیشینه بیشتری در کشور دارد و توانسته اطمینان کارفرمایان را در فرایند انتقال ، به خود جلب نماید. از این رو از سیستم توربین گاز برای چرخاندن کمپرسور گاز در ایستگاههای تقویت فشار کشور استفاده می گردد.



توربین چیست؟

وسیله ای است که انرژی سیال متحرک را به کار تبدیل می کند یعنی سیال با فشار به آن برخورد کرده ، فشار آن گرفته شده و در نهایت به قدرت تبدیل می شود. این سیال می تواند آب ، بخار آب ، باد و یا هوای داغ باشد که البته در تمامی موارد فوق، سیالات می بایستی فشاردار باشند.

با توجه به توضیحات فوق و بر حسب نوع سیال به کار رفته ، توربینها را به سه نوع مختلف تقسیم می کنند:

- ۱) توربین آبی
- ۲) توربین بخار
- ۳) توربین گاز



شکل ۴-۲: نمونه ای از یک توربین

شکل ۴-۱: نمونه ای از توربین چرخ پلتون

بخارچندمحوره

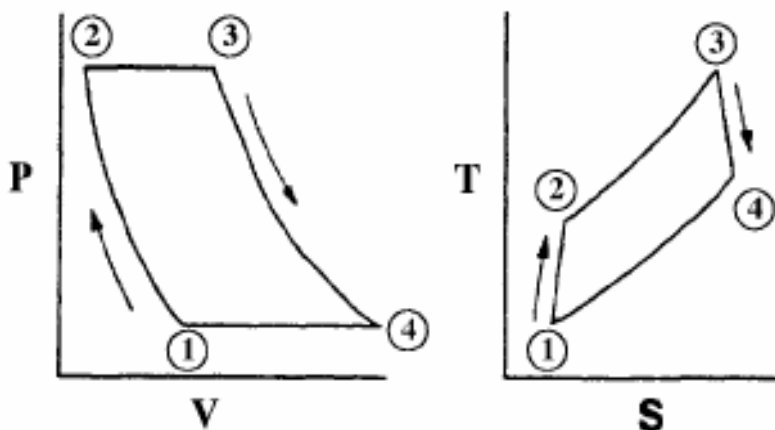


شکل ۴-۳: نمونه‌های از یک توربین گاز جریان محوری یک طبقه

طبق تعاریف ترمودینامیکی ، توربین گاز ، یک نوع موتور گرمایی است که انرژی حرارتی حاصل از ترکیب هر نوعی از سوخت و هوا را به انرژی مکانیکی تبدیل می کند. البته این موتور گرمایی تنها قسمتی از انرژی را به کار تبدیل می نماید و راندمان نسبتاً پایینی دارد.(بازده آن بسته به نوع طراحی سیستم بین ۲۵ تا ۴۵ درصد

است) سوخت مصرفی در توربین گاز می تواند جامد ، مایع و یا گاز باشد و صرف نظر از نوع آن، از آنجاییکه ترکیب سوخت و هوا در نهایت ، گاز داغ پر فشار است به آن توربین گاز می گویند. همچنانکه گفته شد بازده توربین های گازی به دلیلی که در ادامه خواهد آمد پایین است ولی بدلیل برخورداری از مزایای زیر ، از این عیب صرف نظر می گردد.

- قدرت ایجاد توان بالا به نسبت اندازه و وزن آن
 - هزینه تعمیر و نگهداری پایین (زیرا حرکت اکثر قطعات توربین گاز ، چرخشی است و بر خلاف موتورهای دیزل حرکت رفت و برگشتی ندارند)
 - در عرض مدت بسیار کوتاهی (چند دقیقه) راه اندازی شده و قابل بارگذاری است (به نسبت توربین های بخار راه اندازی آن ساعتها به طول می انجامد)
 - سیال عامل آن هواست و نیازی به سیال واسطه خنک کننده ندارد
 - قابلیت استفاده از هرگونه سوختی را دارد
 - نصب و راه اندازی آن سریع و آسان است و غالبا بصورت بسته های آماده از محل تولید خارج می شوند.
 - برخلاف موتورهای الکتریکی وابستگی زیادی به برق شبکه سراسری ندارند و در قطعی های کوتاه مدت از سرویس خارج نمی شوند.
- در ترمودینامیک انواع سیکل های توان تولید ، به دو نوع گازی و بخاری تقسیم می شوند . سیکل های نوع گازی ، خود به سه گروه اتو ، دیزل و برایتون تقسیم شده که توربین گاز در حقیقت یک سیکل برایتون می باشد.



شکل ۴-۴: نمودارهای فشار-حجم و دما-انتروپی در سیکل برایتون

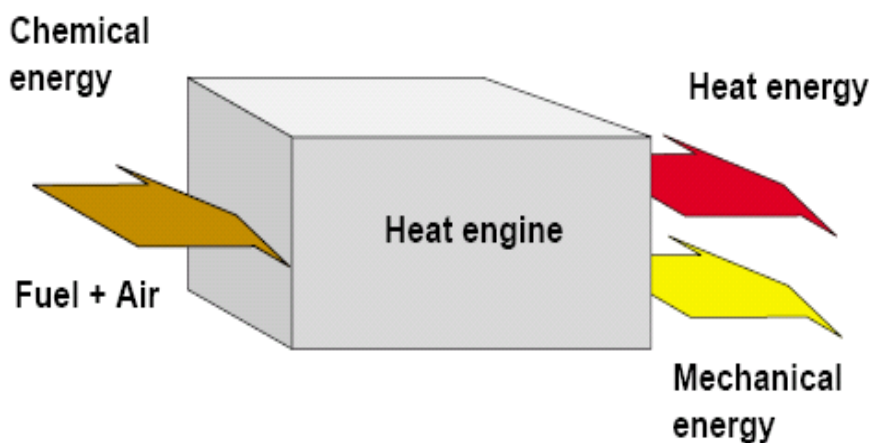
در این سیکل ، مطابق شکل فوق فرایندهای زیر را خواهیم داشت:

- ۱-۲ : افزایش فشار ایزنتروپیک (کمپرسور هوا)
 - ۲-۳ : افزایش دمای فشار ثابت (محفظه احتراق)
 - ۳-۴ : کاهش فشار ایزنتروپیک (توربین)
 - ۴-۱ : کاهش دمای فشار ثابت (تخلیه سیال به اتمسفر)
- طبق این سیکل ، در توربین گاز ابتدا هوای تصفیه شده محیط ، وارد کمپرسور هوا شده ، متراکم می گردد سپس این هوای پرفشار وارد محفظه احتراق شده و با ترکیب با سوخت محترق می گردد پس از آن سیال داغ پرفشار به پره های توربین خورده و ضمن از دست دادن فشار خود تبدیل به کار می شود که مقداری از این کار صرف چرخاندن

کمپرسور هوا و ما بقی همان توان خالص تولیدی جهت مصرف است که طبعا در ایستگاههای تقویت فشار گاز صرف چرخاندن کمپرسور گاز می گردد.

مبانی اولیه توربین گاز

توربین گاز یک موتور گرمایی است یعنی موتوری که انرژی حرارتی را به انرژی مکانیکی تبدیل می کند. انرژی حرارتی معمولا از سوختن یک سوخت گازی به همراه اکسیژن هوا حاصل می گردد. موتور ابتدا انرژی شیمیایی سوخت را به انرژی حرارتی تبدیل کرده و سپس انرژی حرارتی را به انرژی مکانیکی تبدیل می کند. در یک توربین گاز همانند انواع دیگر موتور های حرارتی، تنها بخشی از انرژی حرارتی می تواند به انرژی مکانیکی تبدیل گردد. مابقی انرژی به اتمسفر تخلیه خواهد شد.



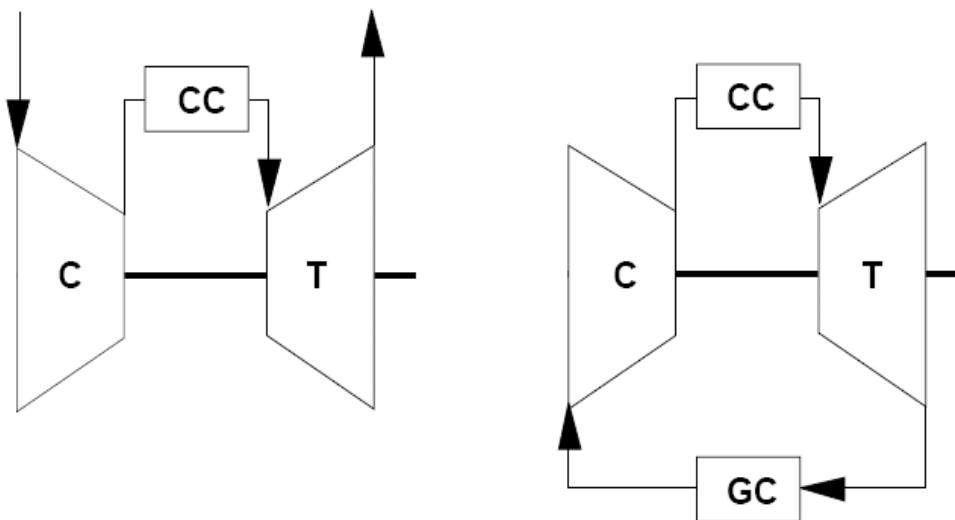
شکل ۴-۵: فرآیند تبدیل انرژی در یک موتور حرارتی

میزان راندمان در فرآیند تبدیل انرژی بیان می دارد چه میزان از انرژی ورودی به انرژی مفید تبدیل شده است. در یک توربین گاز معمولا ۲۵-۴۵٪ از انرژی ورودی به انرژی مکانیکی تبدیل می گردد و مابقی انرژی ورودی به صورت انرژی حرارتی زائد به اتمسفر منتقل می شود. بنابر این راندمان توربین ۲۵-۴۵٪ است.

قسمتهای اصلی سیکل کاری توربین گاز

در یک توربین گاز، جریان هوا و گاز که چرخه تراکم، گرم شدن و انبساط را طی می کند به عنوان عوامل کاری ماشین محسوب می شود. در یک چرخه باز توربین گاز، هوای محیط به داخل مکیده شده و در یک کمپرسور متراکم می گردد. هوا در محفظه احتراق با تزریق سوخت و ایجاد فرآیند احتراق گرم شده، سپس در عبور از توربین منبسط می گردد و بعد در اتمسفر رها می گردد. در یک چرخه بسته گاز بدون وجود هوا، همان حالتهای سیکل باز را طی می کند با این تفاوت که عمل گرم شدن در یک مبدل حرارتی انجام شده و در ادامه گازی که در توربین انبساط یافته قبل از برگشت به

کمپرسور باید سرد گردد. در شکل‌های زیر چرخه‌های باز و بسته یک توربین گاز نشان داده شده است:



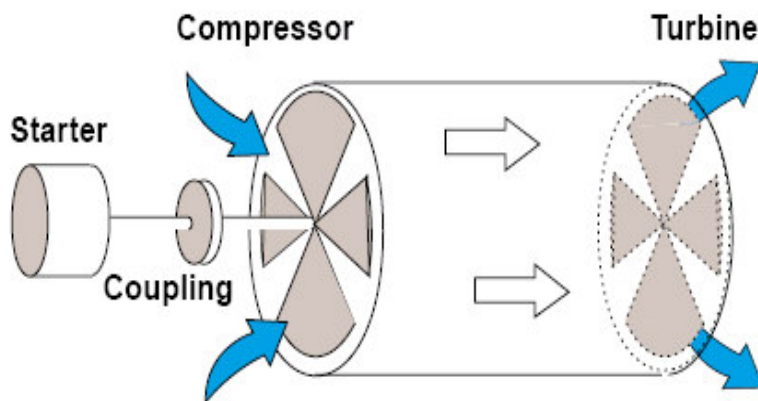
شکل ۴-۶: چرخه‌های باز و بسته توربین گاز

CC = Combustion Chamber
C = Compressor
T = Turbine
GC = Gas Cooler

اصول کلی عملکرد

این که چگونه انرژی حرارتی با جریان یافتن هوا و گاز، به عنوان عوامل کاری ماشین، از قسمتهای فوق به انرژی مکانیکی تبدیل می‌گردد، مطلبی است که به توجه به مدل ساده زیر قابل توضیح است:

مجرائی را در نظر بگیرید که در هر دو سر آن فن وجود دارد. یکی از آنها به عنوان کمپرسور و دیگری به جای توربین در نظر گرفته شود.



The compressor is speeded up by the starter

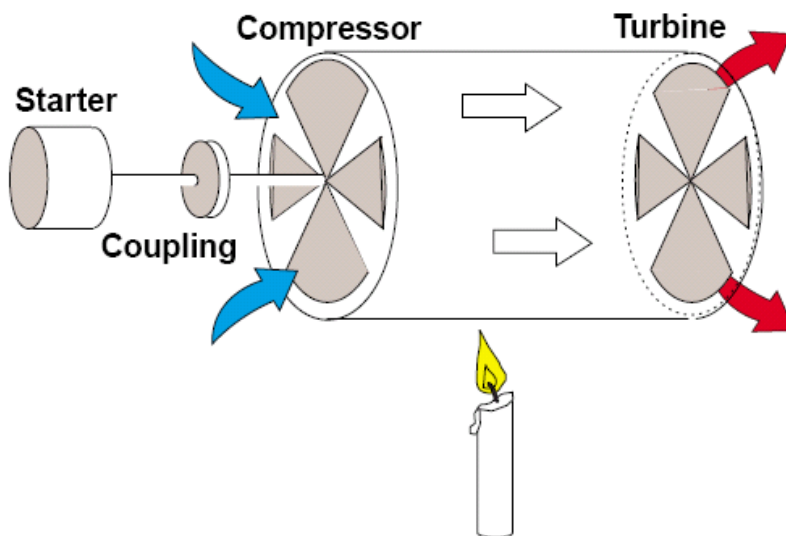
شکل ۴-۷: مدل ساده از یک توربین گاز

یک منبع خارجی تولید توان یا یک راه انداز اولیه از طریق کوپلینگ به کمپرسور متصل می گردد. با آغاز استارت، کمپرسور به وسیله موتور راه انداز اولیه که از طریق کوپلینگ به آن متصل شده، شروع به حرکت می کند. با حرکت کمپرسور جریان هوا داخل مجرا ایجاد شده و هنگامی که این جریان از توربین عبور می کند باعث چرخش آن شده و منجر به تولید یک خروجی مکانیکی می شود. اگر فرایند بدون اتلاف انرژی فرض شود انرژی خروجی توربین برابر با میزان انرژی می باشد که جهت به حرکت در آوردن کمپرسور صرف شده است.

گرم کردن جریان هوا:

گرم کردن هوا باعث افزایش دمای آن می شود. از آنجایی که فشار هوای داخل مجرا به وسیله کمپرسور تامین می شود افزایش دما تاثیری در بیشتر شدن فشار هوا نخواهد داشت در عوض میزان حجم هوا

افزایش یافته و لذا سرعت هوا در عبور از توربین افزایش می یابد. نتیجه کلی این که مقدار بیشتری انرژی به توربین منتقل شده و انرژی مکانیکی خروجی از توربین افزایش می یابد.



شکل ۴-۸: تاثیر گرم کردن هوا

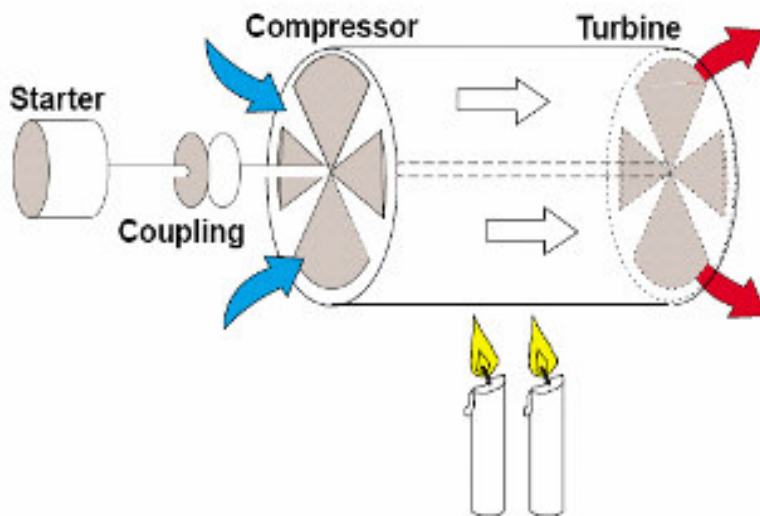
اگر فرآیند را بدون اتلاف انرژی در نظر بگیریم انرژی مکانیکی خروجی از توربین برابر مجموع انرژی صرف شده جهت راندن کمپرسور و انرژی گرمایی که به جریان هوا داده شده است، می باشد.

سرعت خودکفایی:

اگر میزان انرژی حرارتی افزایش یابد توربین انرژی مکانیکی کافی، جهت به حرکت در آوردن کمپرسور، تولید می نماید. چنانچه کمپرسور و توربین روی شفت مشترکی قرار گیرند، موتور راه انداز اولیه می تواند جدا شود و شرایط خودکفایی فراهم آید. موتور راه انداز جهت ایجاد جریان هوا در مجرا لازم است. بعد از جدایی موتور راه انداز، فرآیند جریان هوا ادامه می یابد.

در شرایط خودکفایی (پایدار) انرژی مکانیکی خروجی از توربین فقط برای به حرکت در آوردن کمپرسور کافی است. تمام مقدار انرژی که در نتیجه حرارت دادن تغذیه گردیده به عنوان انرژی تلف شده می باشد. در حقیقت این اتلاف انرژی به خاطر مسایلی چون اغتشاشات موجود در جریان، انتقال حرارت تشعشعی و خروج انرژی از فرآیند ایجاد می گردد.

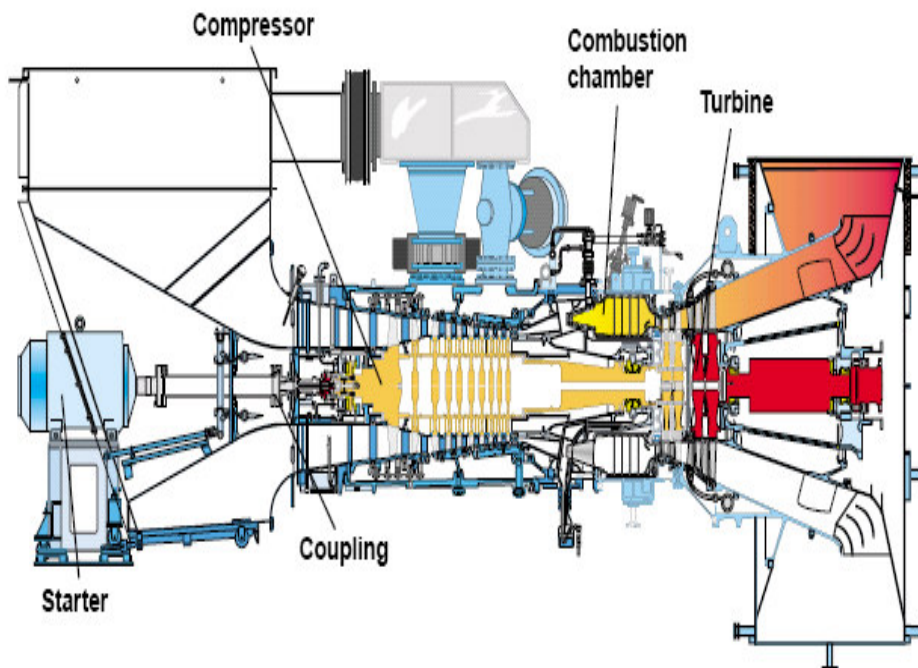
به دلایل ترمودینامیکی دمای گازهای خروجی باید از دمای هوای ورودی بیشتر باشد که این خود به معنی اتلاف انرژی است.



شکل ۴-۹: افزایش انرژی حرارتی و رسیدن به سرعت خودکفایی

تولید توان:

به منظور دست یافتن به انرژی مکانیکی مفید از توربین، باید میزان انرژی حرارتی تا آنجا افزایش یابد که سرعت توربین گاز به بالاتر از سرعت خودکفایی سیستم برسد. برای اینکه توربین گاز دارای کارایی مناسب باشد، طراحی آن باید دارای پیچیدگیهای بیشتر در مقایسه با مدل ساده توصیف شده باشد. ترکیب اصلی توربین گاز شامل پوسته استوانه ای است که این پوسته شامل کمپرسور، محفظه احتراق و توربین بوده و جریان گاز و هوا به صورت مستقیم از موتور عبور می نماید. این ترکیب نمونه بارز بسیاری از توربینهای گازی است.



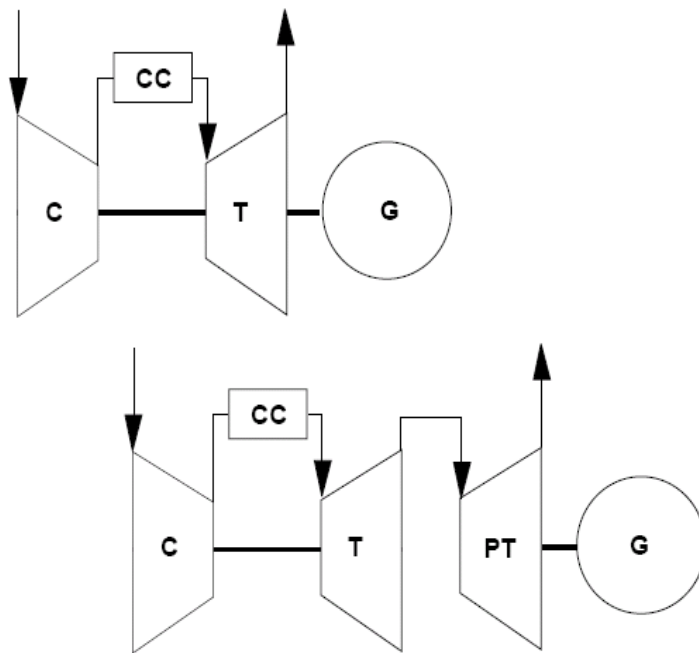
شکل ۴-۱۰: نمونه یک توربین گاز

ساختار توربین گاز

قسمتهای اصلی توربین گاز به روشهای مختلف می توانند کنار هم قرار گیرند. این قسمتها می توانند با اجزاء دیگر ترکیب شوند. ساده ترین نمونه توربین گاز، نمونه تک شفتی آن می باشد. این نوع توربین گاز جهت کاربرد هایی که سرعت ثابت است مناسب می باشد. اما چنانچه در ساختار توربین گاز توربین قدرت مستقل باشد امکان تغییر دادن سرعت توربین گاز در یک گستره وسیع را خواهیم داشت. در کاربردهایی که سرعت ثابت است عملکرد چرخه توربین گاز با سیکل ساده با مدل توربین گاز تک شفتی مقایسه می گردد. به بیان دیگر در مواقعی که میزان بار پایین است به منظور تغییر میزان بار باید ژنراتور گاز شتاب بیشتری بگیرد لذا هوای بیشتری مکیده خواهد شد. اما چنانچه توربین قدرت، مستقل باشد و

ترکیب آن با یک ژنراتور گاز در نظر گرفته شود توربین گازی با انعطاف پذیری بیشتر خواهیم داشت. در این صورت نسبت تراکم بالاتری فراهم می شود.

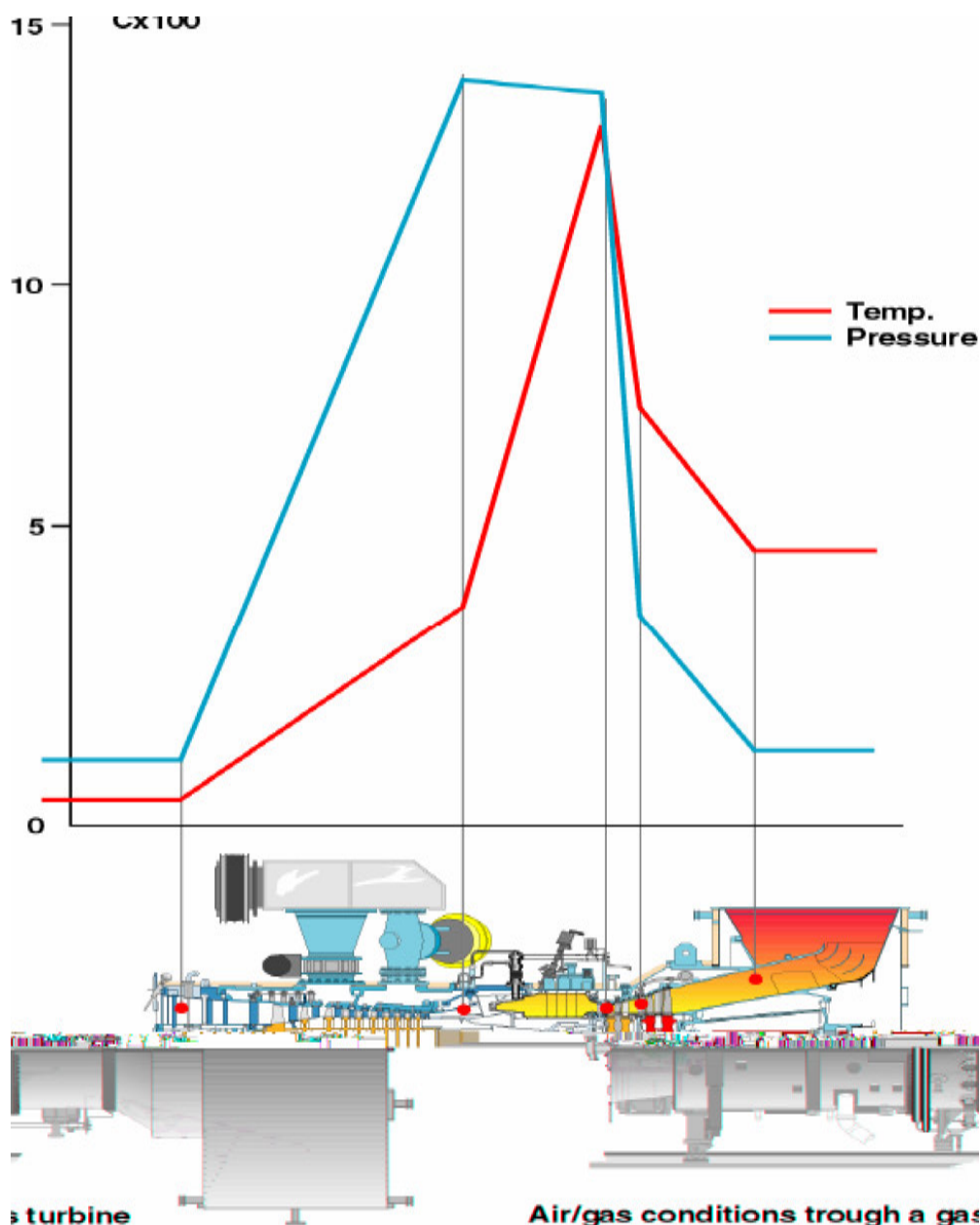
در شکل زیر دو آرایش مختلف از یک توربین گاز نشان داده شده است:



- C Compressor
- CC Combustion chamber
- T Turbine
- CT Compressor turbine
- PT Power turbine
- G Generator

شکل ۴-۱۱: دو آرایش مختلف قسمتهای یک توربین گاز

در شکل زیر نیز وضعیت فشار و دمای جریان عبورکننده از قسمتهای مختلف توربین گاز به خوبی نشان داده شده است:



شکل ۴-۱۲: وضعیت دما و فشار جریان توربین گاز در عبور از قسمتهای مختلف

توربین های گازی در ایستگاههای تقویت فشار

توربین های گاز استفاده شده در ایستگاههای تقویت فشار گاز کشور از انواع متفاوت و شرکت های مختلف می باشند ولی همه آنها در برخی پارامترهای اساسی شبیه یکدیگرند که در ذیل به آن اشاره خواهیم نمود. مطالب زیر در مورد اکثر توربین های گازی با تکنولوژی امروزی صدق می کند اگر چه در نگارش آن به توربین های گازی نوع ALSTOM و NUOVO PIGNONE توجه شده است.

هوای ورودی:

همچنانکه می دانیم سیال عامل توربین گاز ، هواست و این هوا از محیط اطراف توربو کمپرسور تامین می شود که البته می تواند آغشته به گرد و غبار بسیار ریز باشد . این ذرات هر چند ریز باعث بروز خوردگی و سایش و رسوب در کمپرسور محوری هوا و پره های توربین شده و در نتیجه باعث خرابی پره های کمپرسور و توربین و پایین آمدن بازده آنان می شود . لذا جهت جلوگیری از مشکلات فوق ، با طراحی و تعبیه فیلترهایی در ورودی هوا به درون کمپرسور محوری ، از ورود گرد و غبار و ذرات ریز به درون آن جلوگیری می نمایند. سیستم تصفیه هوای ورودی به منظور تغذیه توربین گاز با هوای ورودی تصفیه شده و هدایت هوای ورودی از محفظه فیلتر ها به قسمت ورودی کمپرسور محوری طراحی گردیده است. از طریق چند کانال دریافت کننده ، هوا وارد محفظه فیلتر ها شده و پس از عبور از فیلتر به قسمت مرکزی پوسته ورودی هوا هدایت می شود. هر مجموعه از فیلتر ها به تعدادی پالس جت⁵⁰ مجهزند که پالس جت ها وظیفه تمیز کردن فیلتر را بر عهده دارند. هوای سیستم پالس جت از هوای ابزار دقیق و یا از خود هوای کمپرسور محوری (پس از خنک شدن) تامین می گردد. این هوا پس از عبور از یک فیلتر و یک شیر کاهش دهنده فشار ، وارد یک مخزن ذخیره هوا می گردد. میزان هوای ذخیره شده در مخزن نیاز یک مرتبه عمل تمیز کاری فیلتر ها را تامین می نماید.

عایقهای صوتی قسمتی از پوسته مرکزی ورودی هوا را تشکیل می دهند. به منظور جلوگیری از انتقال صدا، پوسته آنها از داخل عایق شده اند. عایقهای صوتی به صورت تجهیزات چهار گوشه هستند که دیواره های این تجهیز از ورقه های سوراخداری که با پشم معدنی پر شده اند، تشکیل گردیده است.

عملکرد سیستم:

عملکرد این سیستم کاملاً اتوماتیک است. همچنانکه سرعت توربین گاز افزایش می یابد جریان هوای ورودی نیز افزایش می یابد.

در شرایط کارکرد عادی توربین گاز، جریان هوا به طور پیوسته از فیلتر ها عبور کرده و پس از عبور از عایق های صوتی به قسمت ورودی کمپرسور محوری هدایت می گردد.

چنانچه اختلاف فشار دو طرف فیلتر زیاد شود به وسیله سیستم پالس جت عمل تمیز کاری انجام می گیرد و ذرات گرد و غبار جمع شده توسط فن از محفظه فیلتر ها خارج می گردد.

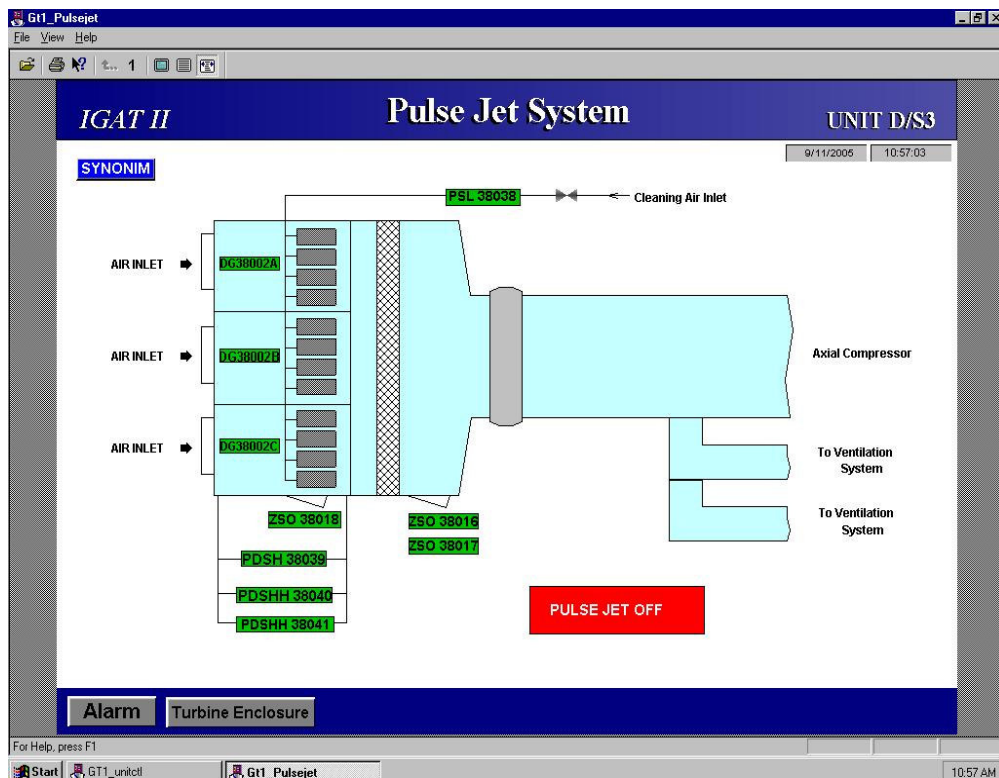
از وظایف مهم بهره بردار در این قسمت :

✓ نظارت بر اختلاف فشار هوای محیط و فشار هوای ورودی کمپرسور پس از گذر از فیلتر می باشد زیرا اگر این اختلاف فشار زیاد باشد (بیش از حد معمول تعریف شده) نشان دهنده کثیف بودن احتمالی فیلترها بوده و در صورتیکه از یک محدوده ای بیشتر شود واحد با توقف اضطراری روبرو خواهد شد.

✓ نظارت بر انجام صحیح سیستم تمیز کننده فیلتر (پالس جت). در سیستم هایی که هوای تمیز کننده فیلتر از کمپرسور محوری تامین می شود به دلیل فشار بالای هوا و در نهایت نیاز به کاهش فشار آن ، امکان یخ زدگی در شیرها و مسیر هوا وجود دارد.

⁵⁰Pulse jet

✓ چک کردن مداوم فیلترهای ورودی از نظر تمییز بودن و عدم وجود حفره و یا هرگونه خللی که طبیعتاً موجب ورود گرد و غبار و یا احیاناً آب باران و ... شده و خسارات جبران ناپذیری به کمپرسور محوری هوا و توربین وارد خواهد کرد.



شکل ۴-۱۳: نمایی از سیستم هوای ورودی و تمییز کننده فیلتر

سیستم راه انداز اولیه:

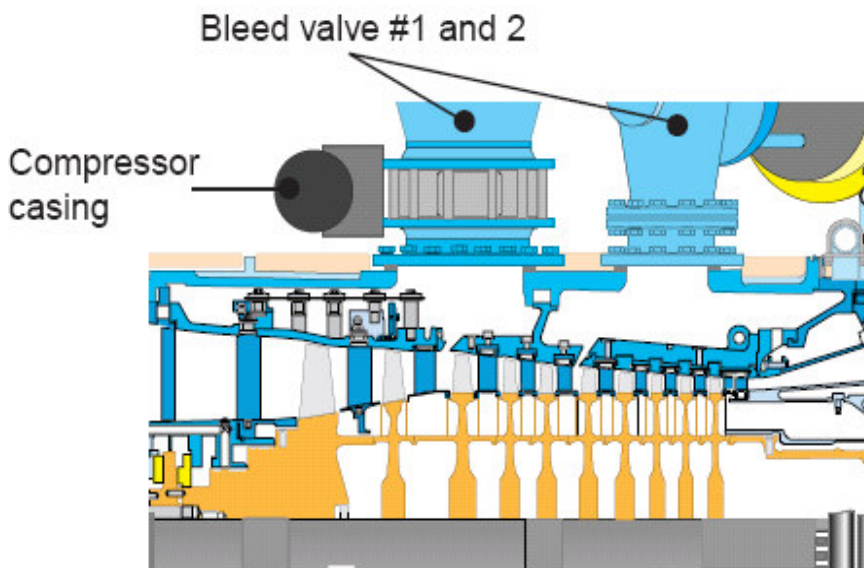
قبل از اینکه توربین به دور خودکفایی برسد نیاز است که روتور آن توسط یک سیستم راه انداز اولیه چرخانده شود این سیستم در توربین های مختلف ، متفاوت می باشد. در برخی طراحی ها از یک الکتروموتور جهت چرخاندن روتور تا دور خاصی استفاده می گردد. از این سیستم در زمان های توقف واحد و طی مراحل cool down نیز استفاده می گردد. و در برخی دیگر ، از سیستم توربین انبساطی راه انداز استفاده می شود. در این روش گاز با فشار لازم که از مرکز تقلیل فشار تامین می شود وارد توربوکمپرسور شده و پره های توربین انبساطی راه انداز را چرخانده و در نهایت روتور کمپرسور محوری را می چرخاند و این عمل تا رسیدن به دور خودکفایی ادامه می یابد. اتصال سیستم راه انداز با شفت کمپرسور محوری بوسیله کوپلینگ انجام می گیرد . پس از رسیدن به دور خودکفایی، این سیستم ها بطور خودکار از روتور کمپرسور محوری جدا شده و از کار می افتند.

وظیفه بهره بردار در این بخش :

- ✓ نظارت بر عملکرد صحیح و بموقع سیستم در زمان راه اندازی واحد و درگیر شدن آن در زمان و دور برنامه ریزی شده
- ✓ نظارت بر عملکرد صحیح در جدا شدن سیستم از شفت کمپرسور محوری در دور مخصوص طراحی شده

کمپرسور مورد استفاده دیگر یک فن ساده نبوده بلکه به منظور متراکم کردن پیوسته جریان هوا تا رسیدن به فشار مطلوب، با پیچیدگیهای بیشتری طراحی گردیده است. معمولاً در توربینهای گاز دو نوع کمپرسور، جریان محوری و جریان شعاعی، استفاده می گردد. کمپرسورهای جریان محوری جهت بدست آوردن نسبت تراکم بالا مناسب تر بوده و دارای کارایی بیشتری می باشند لذا در اینجا این کمپرسورها توضیح داده می شوند. کمپرسور جریان محوری از یک یا چند مجموعه رتور تشکیل گردیده است. رتور حامل تیغه ها بوده و بین یاتاقانها قرار گرفته است. پره های استاتور نیز روی پوسته کمپرسور قرار دارند. یک کمپرسور دارای چندین مرحله می باشد به گونه ای که فشار هوا در هر مرحله مقدار کمی افزایش پیدا می کند. هر مرحله کمپرسور از یک ردیف تیغه های دوار که به دنبال آنها یک ردیف پره های استاتور نیز آمده است، تشکیل گردیده است. در صورتی که نیاز باشد یک ردیف اضافه از پره های استاتور، که به عنوان پره های راهنمای ورودی ⁵¹IGV شناخته می شوند، استفاده می گردد. این پره ها هوا را روی اولین ردیف تیغه های رتور هدایت می کنند و جهت جلوگیری از پدیده استال⁵² نیز بکار می روند. استال در اثر جدایش جریان هوا روی پره های ورودی کمپرسور اتفاق می افتد. لذا این پره های راهنما تعبیه شده اند تا با هدایتی صحیح، هوا با زاویه ای مناسب به سمت پره های کمپرسور محوری برخورد کند و در نتیجه از بروز استال جلوگیری گردد. در ضمن، زمانیکه توربین گاز نیاز به شتاب گیری داشته باشد این پره راهنمای ورودی بیشتر باز شده و در نتیجه هوای بیشتری را به سمت کمپرسور محوری می فرستد.

شکل ۴-۱۴: نمایی از کمپرسور محوری



از سمت جلو به سمت عقب کمپرسور یعنی از قسمت کم فشار به سمت قسمت پر فشار، نواحی وجود دارد که در آنها کاهش تدریجی جریان هوا رخ می دهد. این مطلب به منظور ثابت نگه داشتن سرعت محوری جریان هوا، با توجه به اینکه حجم به طور

⁵¹ Inlet guide vane

⁵² Stall

همزمان طی مرحله تراکم کاهش می یابد، ضروری است. به منظور جلوگیری از نشستی هوا بین مراحل کمپرسور و همچنین ورودی و خروجی کمپرسور آب بند هایی وجود دارد.

جهت جلوگیری از وقوع پدیده سرج در کمپرسور محوری شیرهای تخلیه هوایی^{۵۳} در بدنه کمپرسور محوری در نظر گرفته شده تا هوای اضافی را بخصوص در لحظه استارت از قسمتهای میانی به ورودی

کمپرسور محوری منتقل نماید البته در برخی از انواع توربین های گازی این طراحی به نحوی است که هوای تخلیه شده از کمپرسور محوری به سمت اگزوز رفته و پس از تعدیل دما به اتمسفر تخلیه می گردد.

اصول عملکرد:

در طول کارکرد توربین گاز، کمپرسور بوسیله توربین و با سرعت بالا چرخانیده می شود هوا به طور پیوسته به داخل کمپرسور مکیده شده و پس از شتاب گرفتن به وسیله تیغه های دوار روتور به قسمت عقب کمپرسور متمایل می شود. عبور هوا، از پره های استاتور، که به شکل دیفیوزر می باشند، با کاهش سرعت و البته افزایش فشار همراه خواهد بود. فرایند مشابهی در عبور جریان هوا از تیغه های بعدی روتور اتفاق می افتد. پره های راهنما، انحرافی را که به وسیله تیغه های رتور به هوا وارد شده، رفع نموده و هوا را تحت زاویه مناسب به مرحله بعدی تیغه های رتور هدایت می کنند. آخرین ردیف پره استاتور معمولاً مانند یک صاف کننده هوا عمل می کند به گونه ای که هوا در خروج از کمپرسور و ورود به محفظه احتراق دارای سرعت محوری یکنواخت می باشد.

وظایف بهره بردار در این بخش:

- ✓ کنترل فشار و دمای ورودی و خروجی کمپرسور محوری
 - ✓ کنترل موقعیت شیرهای تخلیه هوا در زمان راه اندازی و بعد از آن
 - ✓ نظارت روزانه در جهت کارکرد مناسب کمپرسور از طریق صدای آن
- زیرا بروز صداهای نابهنجار و غیر عادی می تواند علامت وقوع سرج، استال و یا ورود گرد و غبار به داخل کمپرسور و در نتیجه آسیب دیدن پره های آن باشد.

سیستم سوخت گاز

هدف این سیستم تغذیه مشعلهای توربین با جریان گاز در طول استارت و حین کارکرد توربین می باشد. این سیستم همچنین وظیفه تامین گاز سیستم احتراق را بر عهده دارد. به طور کلی این سیستم اهداف زیر را دنبال می کند:

- تغذیه توربین گاز با سوخت گازی
- کنترل جریان سوخت در موقع راه اندازی، در طول کارکرد توربین و هنگام توقف
- تغذیه سیستم احتراق
- کنترل و چک کردن ولوهای قطع کننده جریان از نظر سفتی ولو در برابر نشستی

⁵³Bleed valve

سوخت گازی قبل از جریان یافتن از طریق نازل‌های سوخت از مسیری شامل شیرهای مختلف جدا کننده، فیلتر سوخت، شیرهای قطع کننده جریان و شیرهای کنترلی عبور می کند. گاز جهت سیستم احتراق از پایین دست فیلتر گرفته شده است. جهت تخلیه گاز باقیمانده در مسیر سوخت بعد از توقف توربین گاز چند شیر تخلیه در مسیر سوخت در نظر گرفته شده است. سوخت تغذیه سیستم جرقه زنی نیز در ورودی محفظه احتراق از مسیری جداگانه تامین می گردد.

وظایف بهره بردار در این بخش:

- ✓ حصول اطمینان از عملکرد صحیح تمام شیرهایی که در مسیر سوخت نصب شده اند
- ✓ کنترل کردن شیر کنترل نهایی در زمان تغییر دور و اطمینان از عملکرد صحیح و بموقع آن
- ✓ کنترل مداوم فشار، دما و فلوی سوخت ورودی به محفظه احتراق
- ✓ چک کردن روزانه اختلاف فشار دو طرف فیلتر سوخت

محفظه احتراق

در محفظه احتراق سوخت به طور پیوسته از طریق مشعلها، به منظور سوختن با هوا، تزریق می گردد. گرمای حاصله از سوختن سوخت گازی به گونه ای آزاد می گردد که گاز منبسط گردیده و جریان هموار و یکنواختی از گازهای گرم در تمام شرایط تامین گردد. این امر باید به گونه ای صورت پذیرد که حداقل افت فشار، همراه با حد اکثر گرمای آزاد شده حاصل گردد. حداکثر گرمای آزاد شده با توجه به محدودیت های مربوط به جنس مواد تعیین می گردد. به منظور به دست آوردن راندمان حرارتی بالا و همچنین مینیمم کردن میزان نشر گازهای خروجی، کارایی موثر قسمت احتراقی سیستم لازم می باشد.

طراحی محفظه احتراق:

محفظه های احتراق به روشهای مختلفی طراحی می گردند. در اینجا طراحی حلقه ای محفظه احتراق توضیح داده می شود. تعدادی مشعل درون یک پوسته حلقه ای مشترک قرار دارند که این پوسته در جلو کمپرسور واقع شده و به عنوان پانل جلو شناخته می شود. خروجی کمپرسور هوا از طریق یک دیفیوزر به پوسته حلقوی متصل شده است. مشعلها نیز از طریق پانل جلو و بوشهای سیلندری به بخش ورودی توربین ارتباط دارند. در حین استارت احتراق به وسیله یک یا چند شمع که در محفظه احتراق نصب شده اند و وظیفه ایجاد جرقه را بر عهده دارند، آغاز می شود. سپس شعله به سایر مشعلها گسترش می یابد. در زیر نمای یکی از مشعلهای سیستم احتراق آورده شده است.

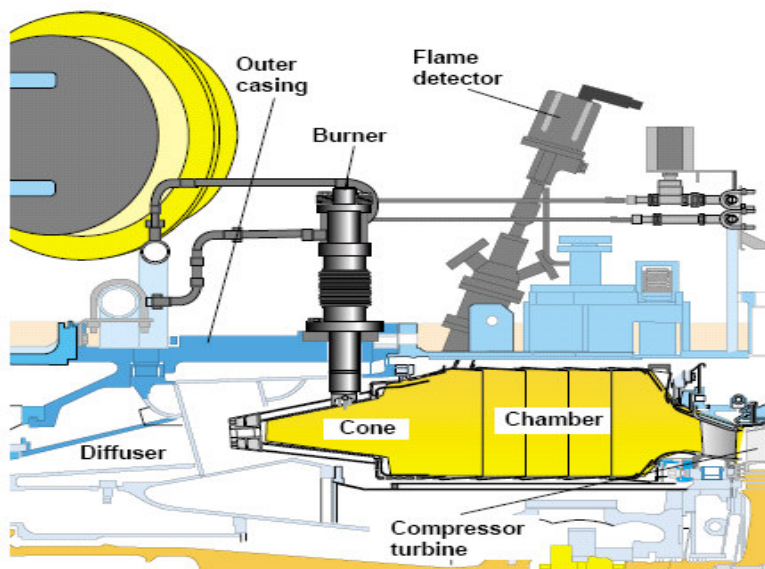
اصول عملکرد:

جریان هوا در موقع خروج از کمپرسور محوری سرعتی در حدود 100m/s دارد اما سرعت سوخت احتراقی فقط چند متر بر ثانیه می باشد. بنابر این به منظور داشتن شعله پایدار سرعت جریان هوا باید کاهش یابد. جهت تامین این خواسته در محفظه احتراق ناحیه ای در نظر گرفته شده که در آن سرعت محوری جریان هوا کاهش می یابد. در این صورت شعله در شرایط کاری ماشین پایدار باقی خواهد ماند.

به منظور بدست آوردن احتراقی با کار آیی بالا، دمای شعله باید در حدود 1000-2000 درجه سانتی گراد باشد. از آنجایی که مواد شناخته شده امروزی توانایی ایستادگی در برابر چنین دماهایی را ندارند دیواره های پوششهای سیلندری باید با هوای اضافی خنک گردند. مقداری از هوا نیز جهت رقیق کردن گازهای داغ و پایین آوردن دمای آن، تا حدی که قسمتهای مختلف توربین توان ایستادگی در برابر آن را داشته باشند، استفاده می گردد.

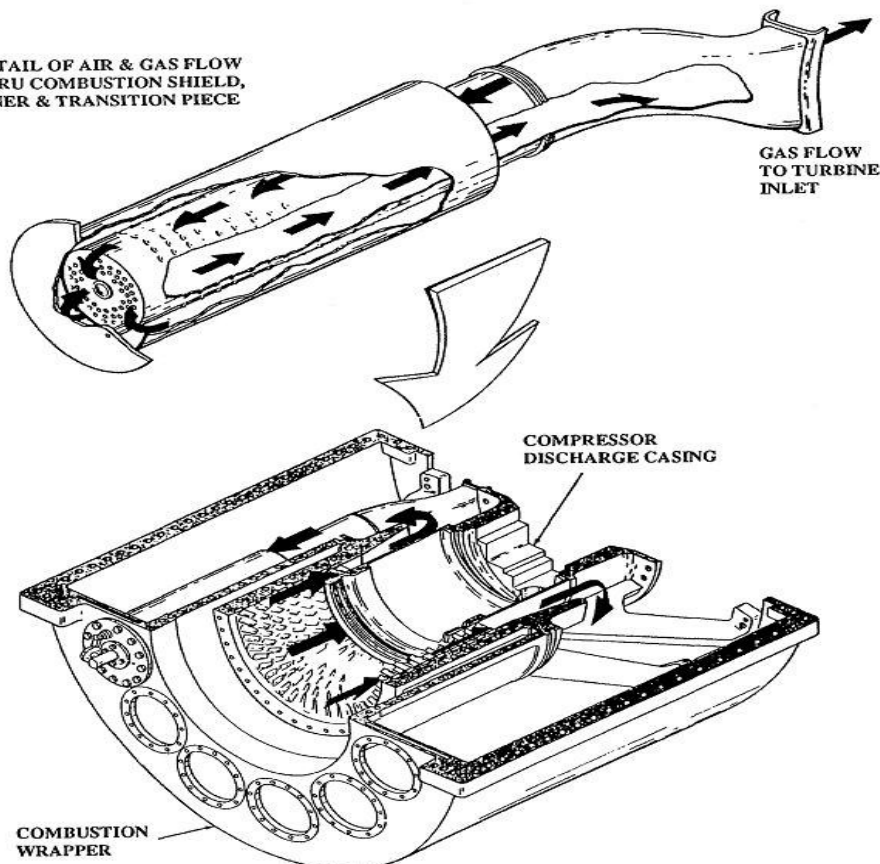
دو نوع محفظه احتراق داریم: در برخی از آنها در حالت تامین بار کامل، فقط در حدود ۲۵٪ از کل جریان هوا جهت تغذیه ناحیه احتراق و ترکیب با سوخت استفاده شده و در نوع دیگر از آنها نیز ۷۵٪ از کل جریان هوا برای احتراق صرف می شود. البته این مقدار بستگی به نوع توربین گاز دارد. از باقیمانده جریان هوا جهت خنک کاری دیواره های محفظه احتراق و رقیق سازی گازهای داغ استفاده می گردد. هوای خنک کاری به گونه ای تغذیه می گردد که یک جریان نسبتاً سرد از هوا نزدیک دیواره های محفظه تشکیل گردد. هوای رقیق سازی نیز از طریق حفره های بزرگی که در پایین دست شعله وجود دارند، تامین می گردد.

جهت داشتن احتراق کاملتر و بدون دود، در طراحی نازل ها، سوراخهای مارپیچی در نظر گرفته شده تا جریان سوخت و هوا را چرخشی نماید.



شکل ۴-۱۵: نمای مشعل محفظه احتراق

DETAIL OF AIR & GAS FLOW
THRU COMBUSTION SHIELD,
LINER & TRANSITION PIECE



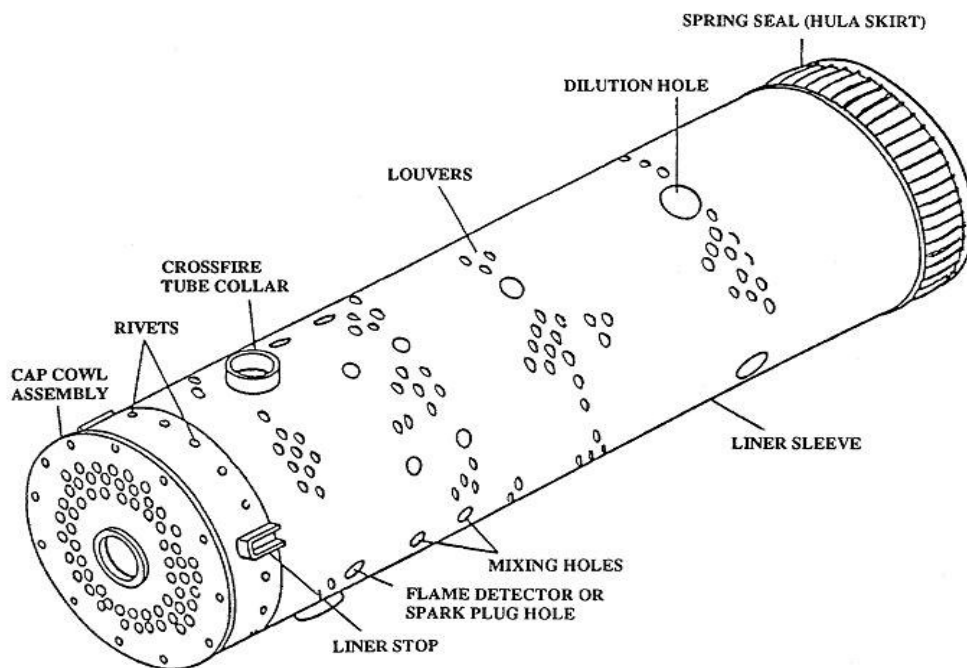
شکل ۴-۱۶: چگونگی جریان هوا در ورود به محفظه های احتراق

لاینر^{۵۴} قسمتی از محفظه است که احتراق در آن صورت می گیرد و دارای حفره هایی جهت عبور هوا

به منظور رقیق سازی محصولات احتراق میباشد.

وظیفه مشاهده شعله ، بعده چند سنسور شعله یاب می باشد که روی محفظه های مجاور هم قرار گرفته اند . وجود شعله باید توسط آنها تایید گردد. سنسورهای نوع ماوراء بنفش آن از گاز ویژه ای پر شده اند که اشعه ماوراء بنفشی که از سوختن هیدروکربن ها بوجود می آید ، را حس می کنند. در صورت ایجاد شعله ، گاز داخل سنسور توسط ولتاژ DC که در دو سر ترمینال های سنسور وجود دارد یونیزه می شود و اجازه عبور جریان الکتریکی را می دهد.

Liner⁵⁴



شکل ۴-۱۷: شماتیک لاینر یا قسمت داخلی محفظه احتراق

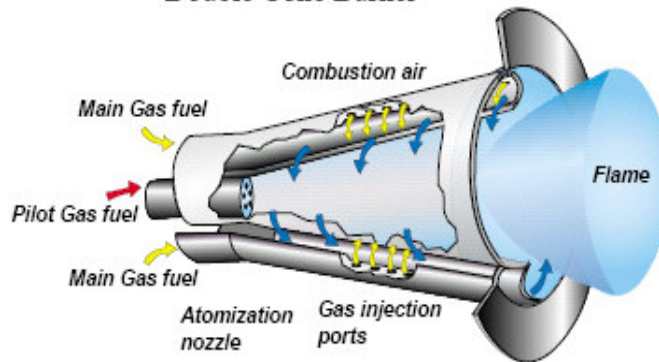
سیستم احتراق با خاصیت نشر امواج در سطح پایین:

به منظور به حداقل رسانیدن میزان انتشار NOX، توربین گاز می تواند به محفظه های احتراقی با خاصیت نشر امواج در سطح پایین مجهز شود که بر اساس ترکیب هوا و سوخت به صورت مخلوطی رقیق شده کار می کند. در این محفظه های احتراقی از مشعلهای منحصر به فرد که به شکل دو مخروطی و موسوم به AEV-BURNER می باشند، استفاده شده است. به منظور اطمینان از کارکرد پایدار، تامین سوخت محفظه احتراق با تزریق سوخت از نوک مخروطی مشعلها، انجام می گیرد.

وظایف بهره بردار در این قسمت:

- ✓ نظارت بر حسن عملکرد سیستم جرقه زنی در زمان راه اندازی سیستم
- ✓ کنترل عملکرد صحیح و به موقع مشعل ها بخصوص در زمان راه اندازی
- ✓ نظارت بر دما و فشار هوای ورودی و خروجی
- ✓ حصول اطمینان از سالم بودن شعله یاب ها

Double Cone Burner



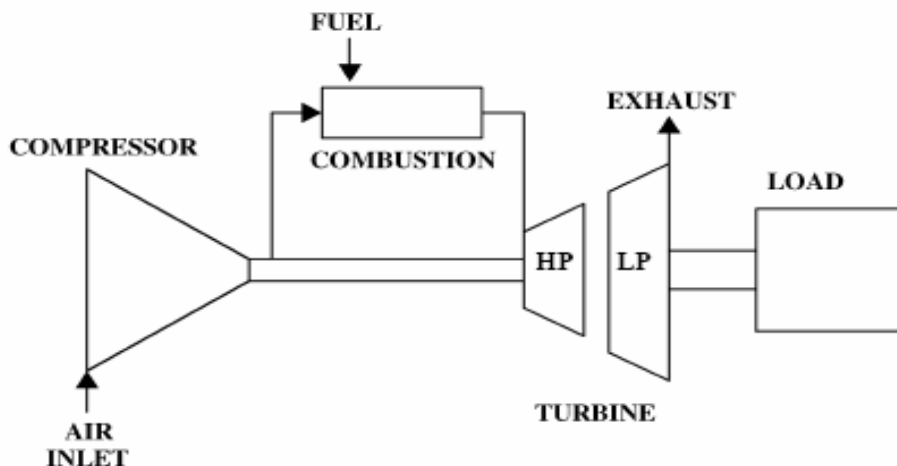
شکل ۴-۱۸: نمونه مشعل مخروطی

توربین گاز

قسمتی از واحد که در آن قسمت محصولات احتراق به توان تبدیل می‌شوند را توربین گویند. توربین توان لازم جهت به حرکت درآوردن کمپرسور محوری را تامین کرده و انرژی مکانیکی مفید در خروجی را نیز تهیه می‌نماید. این کار با انرژی که توربین از گازهای داغ می‌گیرد، تامین می‌شود. گازهای داغ در حین عبور از توربین منبسط شده و به فشار و دمای پایین‌تر می‌رسند. از آنجایی که توربین با سرعت بالایی کار می‌کند در معرض نیروهای گریز از مرکز بزرگ قرار دارد. گازهای وارد شده به توربین دارای دمای خیلی بالایی می‌باشند. معمولاً دو نوع توربین می‌تواند استفاده گردد: توربین با جریان شعاعی و توربین با جریان محوری. در توربین با جریان شعاعی گاز در جهت شعاعی وارد توربین می‌گردد ولی در توربینهای جریان محوری گاز در جهت محور از توربین عبور می‌کند. در این قسمت توربینهای جریان محوری توضیح داده می‌شود.

توربین با جریان محوری:

توربین گاز دارای دو سری پره می‌باشد که از نظر مکانیکی مستقل می‌باشند. اولین مرحله یا مرحله فشار قوی برای گرداندن روتور کمپرسور و شافت لوازم جانبی بکار می‌رود. مرحله دوم یا مرحله فشار ضعیف نیز کمپرسور گریز از مرکز گاز را می‌چرخاند. هدف از مستقل بودن توربینهای فشار قوی و فشار ضعیف و عدم اتصال آنها به یکدیگر، عملکرد آنها در دوره‌های مختلف و تامین بارهای مختلف مورد نیاز کمپرسور گاز می‌باشد.



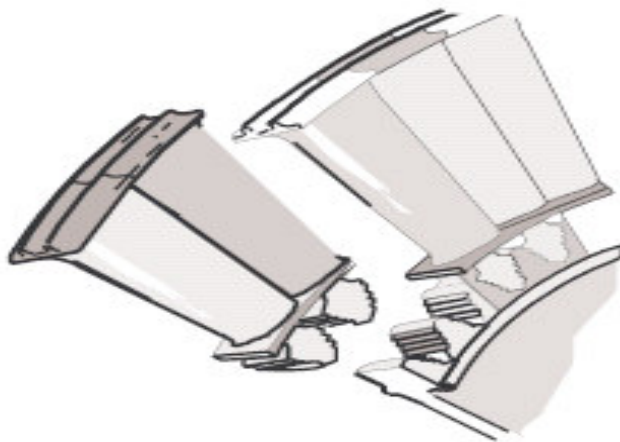
شکل ۴-۱۹: استفاده از دو چرخ توربین جداگانه در توربوکمپرسورهای ایستگاه

توربین گازی دارای چهار یاتاقان می‌باشد، این یاتاقان‌ها بصورت بیضوی^{۵۵} و لقمه‌ای زاویه‌دار^{۵۶} بوده و تحت فشار، روغنکاری می‌شوند. این طرح چهار یاتاقان، باعث می‌شود تا سرعت بحرانی قطعات دوار همیشه بالاتر از بازه سرعت کارکرد توربین قرار گیرد و توربین دارای استارت، بارگذاری و توقف سریعتری باشد. علاوه بر موارد فوق، این طرح اجازه می‌دهد که پره‌های توربین و همچنین پره‌های روتور در یک لقی کمی باقی بمانند تا بتوان بازدهی جزئی و خروجی بالاتری داشت. هر دو توربین دارای بدنه با طراحی و قالب دقیق و پره‌هایی با ساق طویل می‌باشند. این نوآوری بطور موثری لبه‌ها و پایه پره‌ها را از قرارگرفتن در معرض جریان اصلی گاز با دمای بالا حفظ می‌کند. چرخ‌های توربین^{۵۷} توسط هوای گرفته شده از کمپرسور محوری و هوای ناشی از آب‌بندهای قسمت فشار بالایی کمپرسور، خنک می‌شوند. دمای فضایی بین پره‌ها نیز توسط ترموکوپل‌های مخصوصی قابل مشاهده است. توربین معمولاً از چندین مرحله تشکیل گردیده است. هر مرحله خود متشکل از یک ردیف پره‌های راهنمای ثابت به همراه یک ردیف تیغه‌های متحرک می‌باشد. پره‌های راهنما روی پوسته توربین تعبیه شده‌اند و تیغه‌ها درون دیسک‌های توربین محکم گردیده‌اند. پره‌های راهنما معمولاً دارای نوعی پوشش داخلی می‌باشند که به واسطه آن نشت گازهای داغ از زیر پره‌ها کاهش یافته و همچنین به عنوان محافظ روتور محسوب می‌گردند. تیغه‌های توربین نیز گاهی پوششهایی در نوک خود دارند که باعث می‌شود تیغه‌ها از نظر دینامیکی بهتر عمل کرده و میزان نشتی نیز کاهش یابد. دیسک‌های توربین نیز روی شفت قرار دارند. پره‌های توربین درون شیارهایی که به شکل درخت کاج هستند محکم می‌شوند. این پره‌ها دارای پوششی می‌باشند که باعث کم شدن میزان نشتی در مراحل میانی می‌گردد. در شکل زیر شیارهای کاجی شکل به خوبی نشان داده شده است.

⁵⁵Elliptical

⁵⁶Tilting pad

⁵⁷Turbine wheel

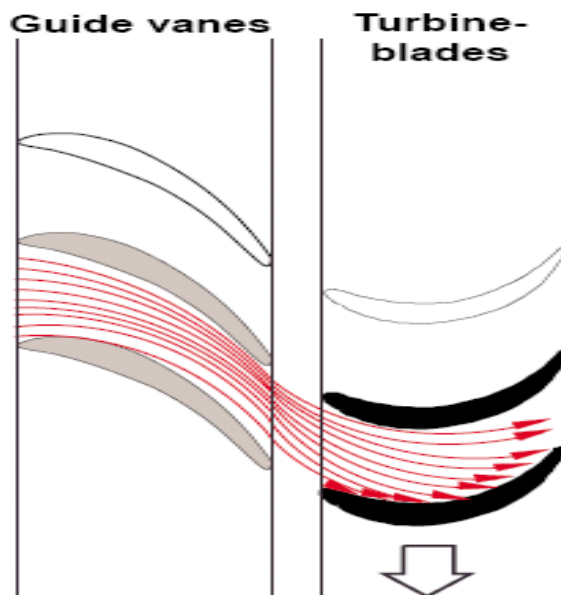


شکل ۴-۲۰: پره های توربین

پره های روتور مانند پره های راهنما به روش ریخته گری دقیق ساخته شده و از داخل خنک می شوند. تمامی سطوحی که در مجاورت گازهای داغ قرار می گیرند به وسیله یک لایه بخار آلومینیوم-پلاتین پوشانیده شده است. این کار جهت محافظت در برابر خوردگی و اکسید شدن انجام می گیرد. به منظور جلوگیری از نشت گاز، آب بند هایی بین مراحل توربین وجود دارد. همچنین آب بند هایی به منظور جلوگیری از نشت گازهای داغ به طرف شفت و یاتاقانها وجود دارد. هوای آب بندی این آب بند ها، اغلب از مراحل مناسب کمپرسور محوری تامین می گردد. این هوا به سمت دیسکهای توربین نیز هدایت گشته تا علاوه بر خنک کردن آنها از انتقال گرما به سمت شفت و یاتاقانها جلوگیری نماید.

اصول عملکرد:

در عبور جریان از فضای همگرای بین پره های راهنما، گازهای داغ منبسط می شوند. انرژی فشاری به انرژی جنبشی تبدیل گشته و گاز شتاب خواهد گرفت. همزمان گاز، حرکتی چرخشی در جهت چرخیدن تیغه های توربین ایجاد می نماید. در نتیجه حرکت تیغه ها، گاز منحرف شده و با توجه به اینکه مسیرهای عبور گاز به صورت همگرا است به انبساط گاز کمک می گردد. هنگامی که گازهای داغ به تیغه ها برخورد می نماید انرژی موجود در جریان گاز به تیغه ها منتقل گردیده و باعث می گردد تا توربین بچرخد و در نتیجه توان لازم جهت راندن شفت توربین فراهم شود.



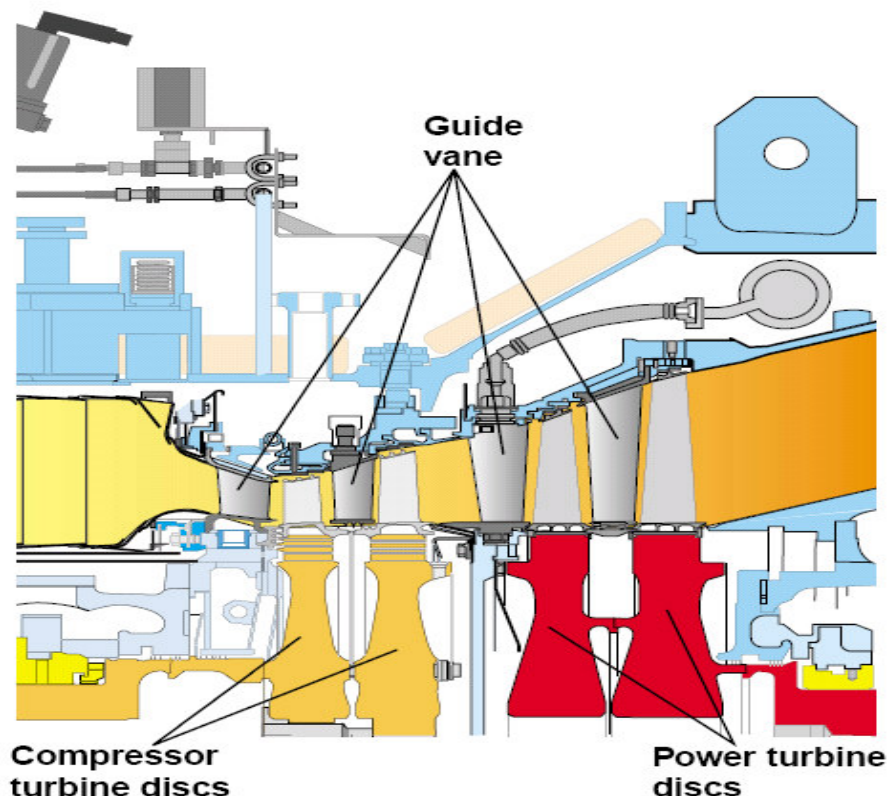
شکل ۴-۲۱: جریان گاز در هنگام برخورد با تیغه های تور

گاز در ادامه بیشتر منبسط گردیده و به وسیله پره های راهنمای مرحله بعد به سمت تیغه های ردیف بعد هدایت می گردد. اگر انرژی گاز به صورت مناسب جذب گردد حرکت چرخشی جریان گاز هنگام خروج از مرحله آخر توربین گرفته خواهد شد. بنابر این جریان گاز در خروج از توربین از حالت چرخشی خارج شده و به صورت یک جریان محوری وارد سیستم آگروز می گردد. به منظور افزایش نسبت تراکم فشار در توربین، کانال خروجی گاز به صورت حلقوی و به شکل یک دیفیوزر می باشد. این کانال به خروجی توربین متصل است.

افزایش و یا کاهش دور در توربین های مختلف مکانیزمهای متفاوتی دارد. در برخی از آنها از نازل های متغیری روی توربین فشار ضعیف استفاده می شود که در این صورت زاویه برخورد محصولات احتراق با پره های توربین تغییر کرده و در نتیجه دور کم و یا زیاد می گردد و در برخی دیگر صرفا از طریق کم و زیاد کردن سوخت کنترل می گردد.

طراحی این نازل ها باعث تعدیل اثرات افزایش دما در نتیجه عبور گاز های داغ شده و علاوه بر آن، تجهیزات را در مسیر گاز ها منظم نگه می دارد. نازل ها به شکل ایرفول و بصورت توخالی ساخته شده اند. در لبه انتهایی آنها نیز سوراخ هایی تعبیه شده است که قسمتی از هوای کمپرسور قبل از وارد شدن به محفظه احتراق، از طریق این سوراخ ها به نازل ها نشست کرده و خنک کاری نازل ها را انجام می دهد.

چرخ های توربین های فشار قوی و فشار ضعیف از نظر مکانیکی بر روی دو روتور مجزا سوار شده اند. این خصیصه باعث می شود که بتوان دور روتور را در دو سرعت مختلف به کار گرفت.

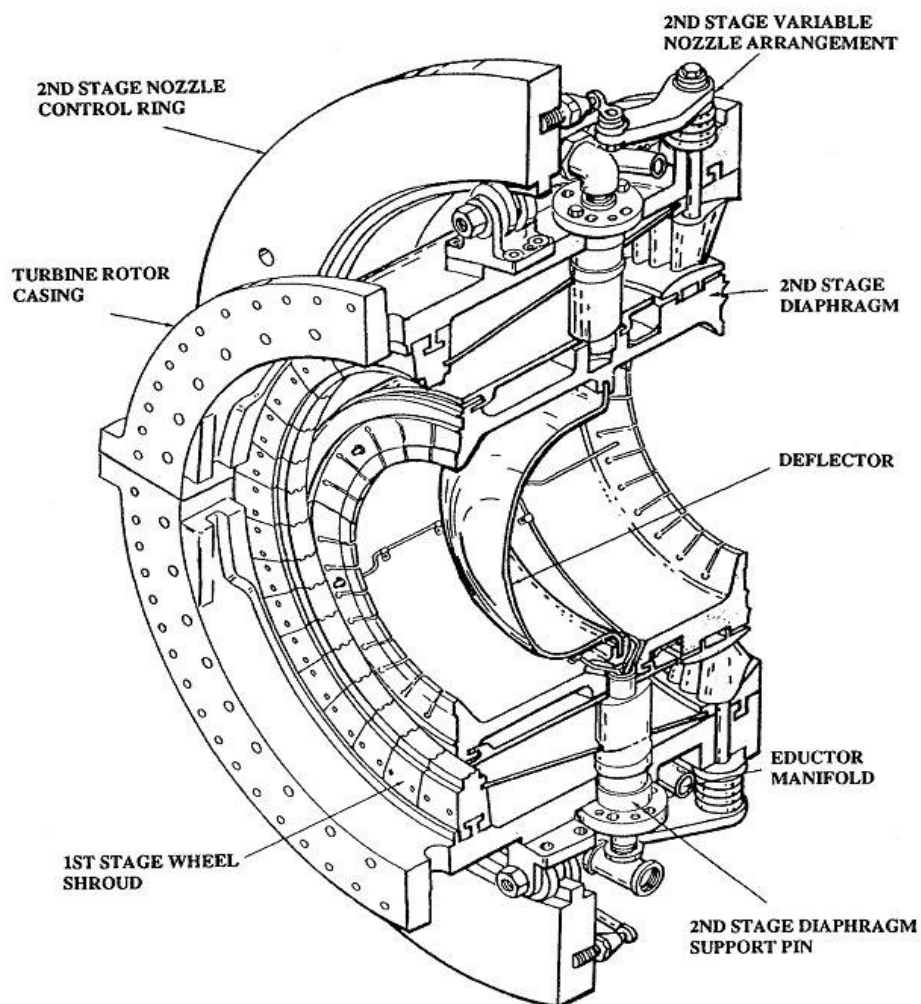


شکل ۴-۲۲: نمای توربین

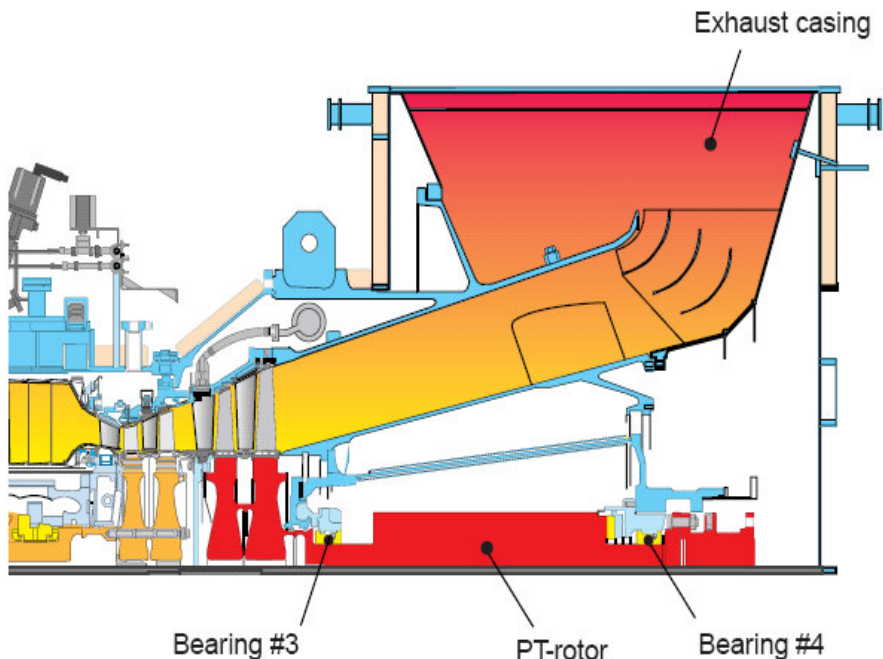
پوسته توربین:

بدنه یا پوسته توربین یکی از اصلی‌ترین قطعات سازه توربین گاز است که در قسمت خارجی، از جلو به بدنه خروجی کمپرسور محوری و در انتها به قاب آگزوز پیچ شده است. دیواره داخلی توربین به جز در سطوح کوچکی شامل سطح تماس نازل‌ها و پوشش‌های آنها با بدنه توربین، از تماس با محصولات احتراق ایزوله شده است. علاوه بر این، هوای خروجی کمپرسور که از بین قطعات نازل مرحله اول نشت می‌کند، به فضای بین بدنه توربین و دیواره خارجی مسیر عبور محصولات احتراق راه پیدا کرده و باعث کاهش انتقال حرارت تشعشعی از دیواره‌های داغ به بدنه توربین می‌شود. همچنین در بدنه توربین سوراخ‌هایی تعبیه شده است که با سوراخ‌هایی در قسمت آگزوز جفت می‌شوند. هوای محیط از طریق این سوراخ‌ها باعث خنک کاری قسمت انتهای بدنه توربین و آگزوز می‌شود. پوسته توربین به پوسته

دیفیوزری پیچ شده است. هدف از دیفیوزر، کند کردن میزان سرعت جریان گازهای داغ و بدست آوردن فشار استاتیکی است تا از این طریق نسبت تراکم فشار در توربین افزایش یابد. محفظه یاتاقان‌ها به پوسته دیفیوزری متصل است. پوسته آگزوز بخش بزرگی از پوسته دیفیوزری را در بر گرفته و گازهای خروجی را به کانال خروجی هدایت می‌کند. پوسته توربین به گونه ای طراحی گردیده است تا حداقل فشار برگشتی را داشته باشیم. این مساله برای اینکه کمترین تاثیر را در توان خروجی توربین داشته باشیم مهم است. در شکل زیر نمایی کلی از توربین قدرت آورده شده است.



شکل ۴-۲۳: شماتیک پوسته نوعی از توربین و قطعات نصب شده بر آن



شکل ۴-۲۴: توربین قدرت و آگزوز

از وظایف مهم بهره بردار در این بخش:

- ✓ کنترل و نظارت بر دور توربین فشار قوی و فشار ضعیف
- ✓ کنترل بر نحوه عملکرد صحیح نازل متغیر در زمان تغییر دور واحد (در صورت داشتن نازل متغیر در توربین فشار ضعیف)
- ✓ کنترل بر نحوه عملکرد شیرهای تنظیم سوخت در زمان تغییر دور واحد
- ✓ کنترل دمای ورودی توربین (خروجی محفظه احتراق)
- ✓ کنترل دمای دیسک های توربین
- ✓ کنترل دما و فشار هوای خروجی از توربین (آگزوز)

سیستم روانکاری روغنکاری

این سیستم به منظور روغنکاری و خنک کاری یاتاقانها و تجهیزات متحرک توربین گاز استفاده می گردد. به منظور کارکرد ایمن و مطلوب توربین و تجهیزات متحرک آن، دما و فشار روغن به طور پیوسته کنترل می شود. روانکاری هر واحد توسط یک سیستم روغنکاری تحت فشار با سیکل بسته صورت می

گیرد. این سیستم شامل تانک روغن، خنک کننده های روغن^{۵۸}، پمپ ها، فیلترها، شیرها و وسایل دیگری جهت کنترل و حفاظت از سیستم می باشد. بطور کلی روغن در این سیستم وظیفه روانکاری چهار یاتاقان ها و همچنین تأمین روغن سیستم راه انداز را بر عهده دارد. در مراحل راه اندازی، کارکرد عادی و خنک کاری توربین گاز سیستم روغنکاری در سرویس می باشد. در موقع از دست دادن منبع تغذیه AC با توجه به برخورداری

⁵⁸Oil Cooler

سیستم روغنکاری از سیستم پشتیبانی DC باتریها، عمل روغنکاری تجهیزات متحرک ادامه خواهد داشت پمپ روغنکاری اصلی می تواند از نوع پمپ های جابجایی مثبت⁵⁹ و چرخندهای (که نیروی خود را از شفت توربین فشار قوی تامین کند) و یا از نوع گریز از مرکز و یا هر دو نوع توامان باشد. پمپ روغنکاری کمکی در هنگام استارت یا توقف واحد، که پمپ روغنکاری اصلی قادر به تأمین فشار کافی برای روغنکاری و عملکرد ایمن واحد نیست، فشار لازم برای این منظور را فراهم می کند. در برخی از انواع توربوکمپرسورها، پمپ روغنکاری اضطراری به منظور تأمین روغن روغنکاری یاتاقانها در مواقعی که پمپ روغنکاری کمکی خارج از سرویس بوده و یا قادر به تأمین فشار کافی برای روغنکاری یاتاقانها نیست، در نظر گرفته شده است. فیلترهای روغن نیز بصورت جفت بوده که یکی در سرویس و دیگری رزرو می باشد. فیلتر رزرو را می توان بدون آنکه خللی در کار توربین ایجاد شده و یا واحد متوقف گردد، از محل خود خارج و بازرسی کرد. پس از توقف واحد و در زمان COOL DOWN جهت جلوگیری از شکم انداختن و اعوجاج شافت و داغ ماندن قسمتی از یاتاقانها در اثر عدم چرخش شفت، به راه می افتد. روغن روغنکاری پس از گذشتن از یک فیلتر به ورودی پمپ روغن اضطراری وارد می شود و این پمپ وظیفه روغنکاری و خنک کاری روتور و یاتاقانها را بعهده دارد. در زمان قطع برق، طی مراحل خنک کاری⁶⁰ بصورت نرمال خود بسیار لازم و ضروری است لذا این سیستم باید کار کند. در برخی توربینها از همان پمپهای AC و به کمک پشتیبانی باتریها استفاده می گردد (پس از تبدیل جریان DC به AC) و در برخی دیگر، از پمپهای DC و جریان مستقیم باتریها استفاده می شود. سایر اجزای سیستم روغنکاری بدین شرح می باشد:

- سوئیچ جهت اخطار دادن کاهش فشار روغنکاری
 - گنج های نشان دهنده سطح روغن،
 - سوئیچ هایی برای اخطار و توقف هنگام دمای بیش از حد روغن،
 - شیرهای یک طرفه جهت جلوگیری از برگشت روغن.
- در خروجی پمپ اصلی، شیر یک طرفه ای قرار گرفته است تا از جریان معکوس روغن جلوگیری نماید.
- در زمان راه اندازی واحد دمای روغن معمولاً پایین است لذا لزجت روغن بالاست به همین دلیل چند عدد هیتر روغن، در درون تانک روغن وجود دارد تا دمای روغن را در زمان استارت بالاتر از دمای طراحی شده، نگه دارد. توجه به این نکته نیز ضروری است که در زمان روشن شدن این هیترها، پمپ روغنکاری اصلی و یا کمکی باید روشن باشد چون در غیر اینصورت، بدلیل جریان نداشتن روغن درون

تانک، روغن در نقاط تماس با هیترها نقطه سوز شده و در نتیجه تغییر خواص روغن، صافی سطح یاتاقانها را از بین می رود. لازم به ذکر است که سطح روغن درون تانک باید به حدی باشد که تمام سطح هیترها را کاملاً بپوشاند زیرا در غیر اینصورت دمای قسمت بالایی هیترها، بیش از حد افزایش یافته، که آن نیز باعث افزایش بخارات روغن می گردد.

- سیستم خنک کننده که دارای چند عدد فن خنک کننده هوایی می باشد وظیفه خنک کاری روغن را بعهده دارد. زیرا دمای بالای روغن موجب رقیق شدن و کاهش لزجت آن می گردد که این مساله در کار انتقال حرارت در یاتاقانها اختلال ایجاد کرده و نیز باعث می شود روغن شرایط لازم جهت کاهش اصطکاک بین شافت و یاتاقان را از دست بدهد. این سیستم با کنترلی که روی فن ها دارد، دمای روغن را در محدوده مجاز خود نگه می دارد.

⁵⁹Positive Displacement

⁶⁰Cool down

- هیترهای برقی: برای جلوگیری از نفوذ سرمای بیش از حد فصل زمستان به روغن در طی مسیر به سمت خنک کننده، از هیترهای برقی اطراف لوله های روغن استفاده شده که بصورت اتوماتیک و دستی قابل فرمان دادن هستند. مقداری از روغن در اثر برخورد با نواحی داغ، بخار می شود و در تانک روغن دود ایجاد می کند به این منظور یک سیستم جداکننده که مجهز به یک الکتروموتور و یک مخزن می باشد، روغن و بخارات آن را از هم جدا کرده، بخارات روغن به اتمسفر هدایت و روغن ته نشین شده، مجدداً به سیستم بر می گردد.

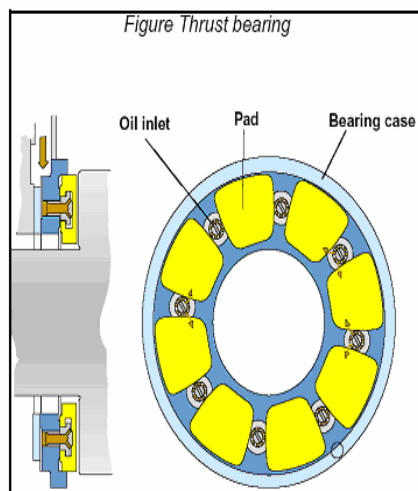
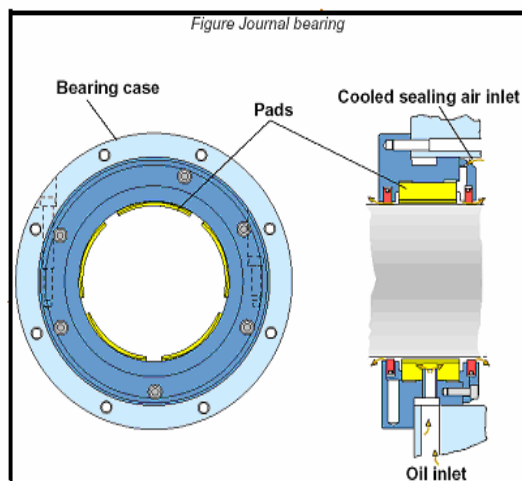
وظایف بهره بردار در این قسمت:

- ✓ بازدید روزانه از اتاقک توربین و کمپرسور و گزارش نشتی های احتمالی در سیستم
- ✓ بازدید روزانه از سطح روغن در مخزن آن
- ✓ کنترل مداوم دمای روغن مخزن
- ✓ حصول اطمینان از کارکرد صحیح سیستم، بخصوص پمپهای اصلی و کمکی آن
- ✓ کنترل روزانه دمای ورودی و خروجی واحد خنک کننده روغن
- ✓ کنترل مداوم فشار و دمای روغن در نقاط مخصوص روغنکاری (یاتاقانها)
- ✓ کنترل اختلاف فشار دو طرف فیلتر روغن

یاتاقانها

بدنه دستگاه روی ۴ یاتاقان اصلی سوار می شود این یاتاقانها سرعت بحرانی قطعات دوار را بالاتر از سرعت کارکرد آن برده و راه اندازی و توقف توربین را آسان و سریع می نماید. در ضمن اجازه حرکت شعاعی و محوری را از دستگاه می گیرد. روانکاری و خنک کاری این یاتاقانها توسط روغن فشاردار انجام می گیرد.

حسگرهایی، دما، فشار روغن و ارتعاشات یاتاقانها را اندازه می گیرند و از وظایف مهم بهره بردار، کنترل و نظارت دقیق بر پارامترهای فوق می باشد تا از محدوده مجاز تعیین شده توسط سازنده عبور نکند. توربین گاز ۴ یاتاقان بیضوی و بالشتکی زاویه دار دارد که تحت فشار روغنکاری می شوند. این ۴ یاتاقان، سرعت بحرانی قطعات دوار را بالاتر از حداکثر سرعت کارکرد توربین نگه می دارند در نتیجه توربین دارای استارت، بارگذاری و توقف سریعتری می شود. یاتاقان های شماره ۱ و ۲ تکیه گاه کمپرسور محوری و توربین فشار قوی، و یاتاقان های شماره ۳ و ۴ تکیه گاه شافت توربین فشار ضعیف می باشند. روغنکاری یاتاقان ۲ بدلیل نزدیکی به محفظه احتراق مهمتر از بقیه یاتاقانهاست. سیلهای روغن نیز از نوع لایبرنتی می باشند که در نشیمنگاه یاتاقان قرار داشته و فاصله بسیار کمی با شافت توربین دارند. در ضمن هوای کمپرسور محوری نیز به لایبرنتها درسیل بهتر، کمک می کند. همه یاتاقانهای فوق از طریق روغن تحت فشار، روغنکاری می شوند. آب بندهای روغن نیز از نوع شانه-ای (Labyrinth) می باشند که در نشیمنگاه یاتاقان قرار داشته و لقی بسیار کمی با شافت توربین دارند. البته به منظور آب بندی مطمئن تر، از هوای کمپرسور محوری نیز برای آب بندی استفاده می شود.



شکل ۴-۲۵: شماتیک یاتاقان محوری و شعاعی ونحوه عملکرد آنها

وظایف بهره بردار:

- ✓ کنترل مداوم دما و فشار روغن یاتاقانها
- ✓ کنترل مداوم ارتعاشات یاتاقانها

سیستم تهویه جهت تغذیه فضای داخلی اتاق توربین گاز با مقدار لازم هوادر نظر گرفته شده است تا علاوه بر انجام عمل خنک کاری، در برقراری جریان هوا به منظور ایجاد ناحیه ایمن و بی خطر موثر باشد. این سیستم اهداف زیر را دنبال می کند:

- فشار داخل اتاق توربین گاز را به گونه ای تامین می کند تا اختلاف ناچیزی با محیط بیرون ایجاد گردد. فشار داخل اتاق می تواند بیشتر یا کمتر از فشار محیط باشد.
- هنگامی که سیستم اطفاء حریق فعال می گردد دمپر⁶¹ های سیستم تهویه بسته گردند.

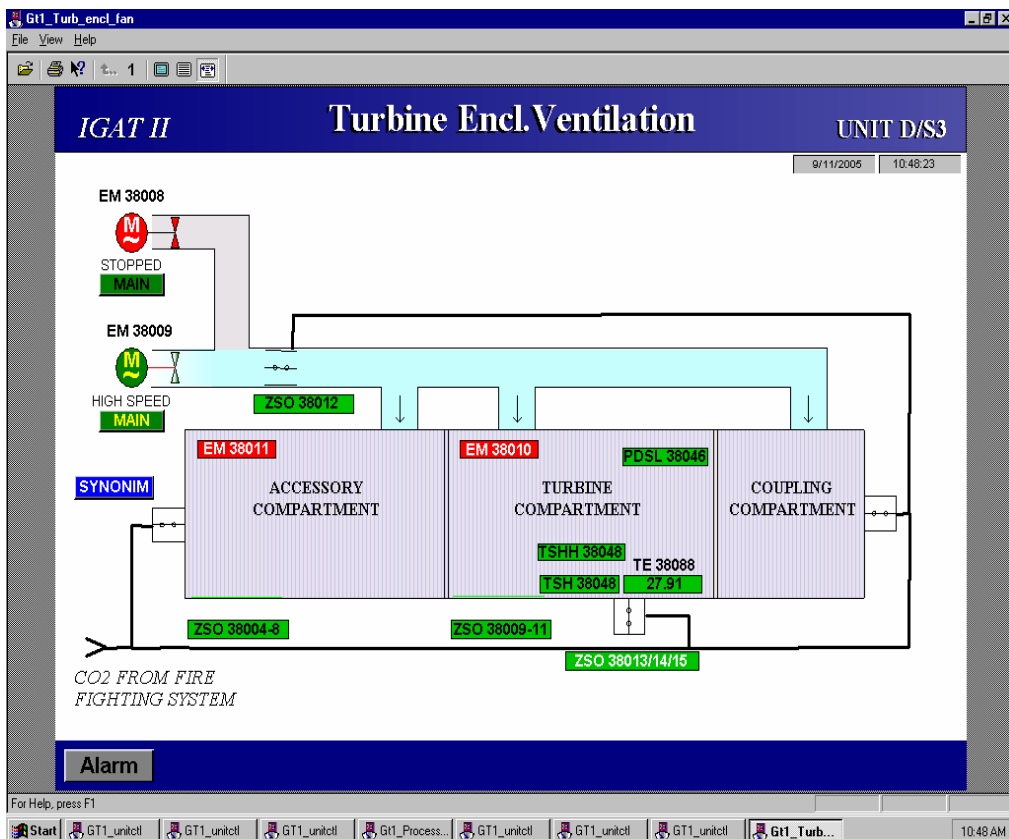
سیستم تهویه اتاق تجهیزات کمکی نیز به منظور تغذیه اتاق با مقدار لازم هوا جهت خنک کردن اتاق در نظر گرفته شده است. این سیستم از یک کانال ورودی، که هوا را به داخل اتاق توربین گاز هدایت می کند و یک کانال خروجی که هوا را از قسمت انتهایی محفظه توربین، جایی که تشعشعات حرارتی، بالاترین میزان را داراست خارج می کند، تشکیل گردیده است. کانالهای ورودی و خروجی از جنس ورق استیل گالوانیزه بوده دارای عایقهای صوتی، دمپر و یک فن می باشند. اگر از هوای بیرون جهت تهویه استفاده گردد از فیلتر هم استفاده می گردد. معمولاً در بیشتر کاربردها، عمل تهویه با زیاد شدن فشار داخل اتاق توربین گاز همراه است مگر در جاهایی که واحد توربین گاز در ناحیه خطر قرار دارد. در مواقع بروز آتش، دمپر ها بسته شده و از ورود هوا به محفظه توربین جلوگیری می شود. این کار به تمرکز CO₂ آزاد شده در محفظه توربین کمک می کند. در این حالت فن سیستم نیز به صورت اتوماتیک خاموش می گردد. سیستم تهویه اتاق تجهیزات کمکی از سیستم تهویه اتاق توربین گاز جدا می باشد. هوا از قسمت تصفیه کننده وارد سیستم تهویه شده سپس به دو شاخه تقسیم می گردد. یک شاخه هوای تهویه محفظه توربین و شاخه دیگر هوای تهویه اتاق تجهیزات کمکی را تامین می نماید. این سیستم کاملاً اتوماتیک عمل می کند. هنگام راه اندازی، فن روشن می گردد و جریان ثابتی از هوا را در حین کار سیستم فراهم می نماید. عملکرد این فن با توجه به اختلاف فشار دو طرف آن تحت کنترل می باشد. عملکرد کلی سیستم تهویه با توجه به اختلاف فشار بین داخل و خارج محفظه توربین کنترل می گردد. هنگام توقف واحد، سیستم تهویه در چند ساعت نخست مرحله خنک کاری توربین در سرویس می باشد و چنانچه نیاز نباشد به صورت اتوماتیک از سرویس خارج می گردد. عمل تهویه سیستم در زمان توقف کامل واحد، هر زمان که نیاز باشد، بجز هنگامی که اخطار سیستم گاز یاب فعال است، به صورت دستی قابل انجام است. به منظور عملکرد ایمن سیستم تهویه، دو نوع دمپر در این سیستم پیش بینی شده است:

◀ دمپرهای جاذبه ای که به واسطه وزن خود بسته می شوند و توسط فن های تهویه و از طریق مکش این فن ها باز می شوند. این دمپر ها در قسمت فیلتر ها قرار دارند.

◀ دمپر هایی که در مسیرهای ورودی و خروجی سیستم تهویه قرار دارند. این دمپر ها بصورت اتوماتیک بسته می شوند و بسته شدن آنها بوسیله سیستم آتش یاب و از طریق فشار CO₂ خروجی صورت می گیرد.

شکل زیر شماتیک این سیستم را نشان می دهد.

⁶¹Damper



شکل ۴-۲: شماتیک سیستم هوای تهویه توربین

وظایف بهره بردار در این بخش:

- ✓ کنترل اختلاف فشار ببین هوای داخل اتاقک های توربین و هوای بیرون که نمایانگر روشن بودن یا نبودن فن هاست.
- ✓ کنترل دمای اتاقک های توربین

سیستم هوای آب بندی و خنک کاری^{۶۲}

جهت آب بندی روغن یاتاقان ها و خنک کاری قسمت های مختلف توربین از هوای مراحل مختلف کمپرسور محوری (بنا به نوع طراحی) و نشتی هوای آب بندی کمپرسور جریان محوری و همچنین هوای محیط استفاده می شود. هوای گرفته شده از کمپرسور به منظور آب بندی یاتاقان ها در مقابل نشتی روغن، خنک کاری پوسته توربین و همچنین خنک کاری آگزوز و بازوهای نگهدارنده داخلی آن ، خنک کاری سمت راست چرخ توربین فشار قوی ، هر دو طرف چرخ توربین فشار ضعیف و سمت چپ چرخ توربین فشار ضعیف و آب - بندی مسیر عبور محصولات احتراق استفاده می شود. هوایی که جهت آب بندی یاتاقان ها استفاده می شود از یک جدا کننده گریز از مرکز می گذرد تا از ورود ذرات و

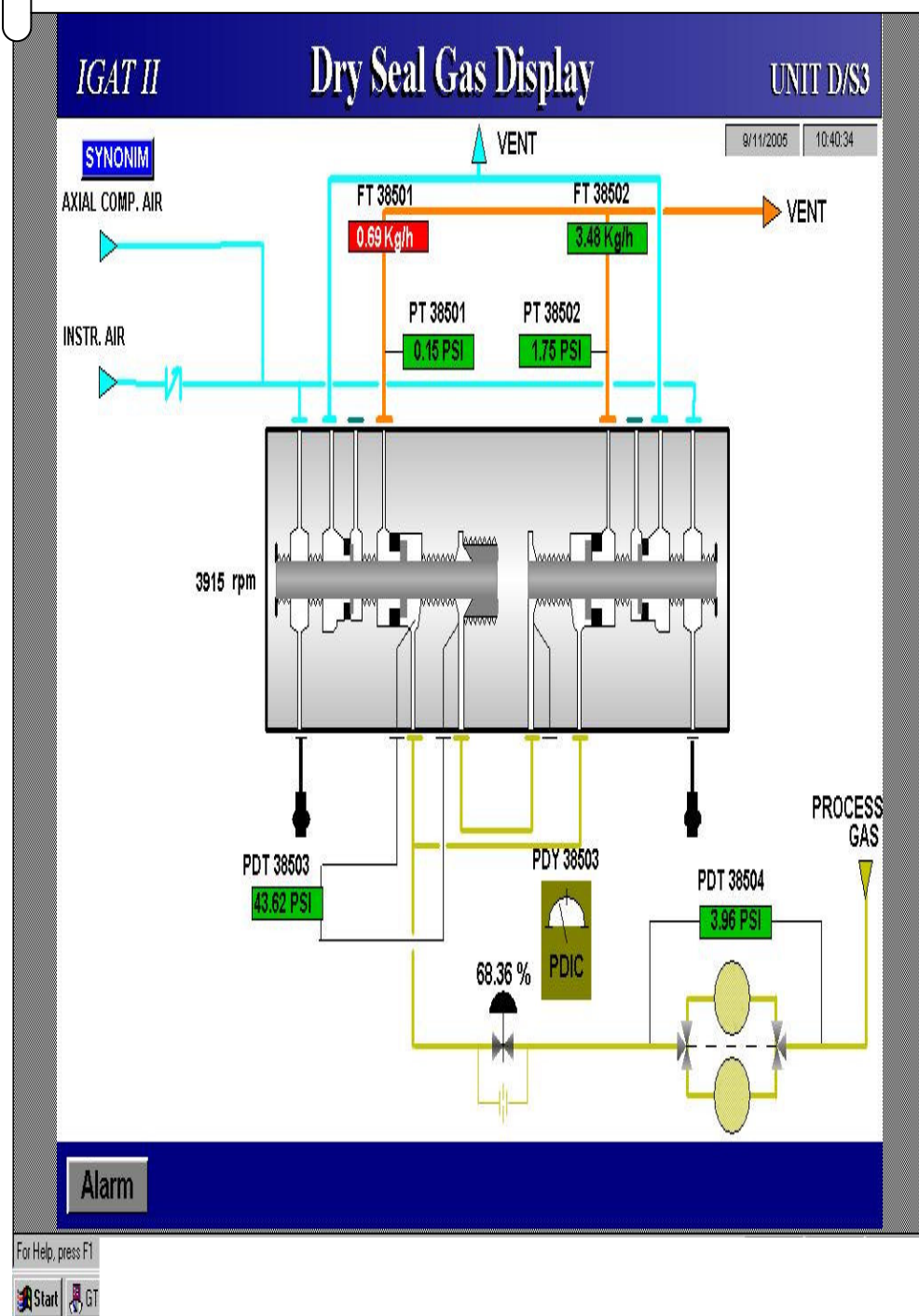
⁶²Sealing cooling air

ناخالصی ها به یاتاقان ها جلوگیری نماید: تخلیه این هوا از طریق لوله های تخلیه روغن انجام می شود.

هوای اگزوز^{۶۳}

در قسمت خروجی، گازهای حاصل از احتراق بعد از برخورد با پره های توربین به اتمسفر تخلیه می شوند. این گازها باید قبل از تخلیه شدن به اتمسفر، رقیق شده و برای تخلیه به محیط دارای استانداردهایی از نظر تمیزی و سطح تولید صدا باشند. به این منظور سیستم اگزوز بصورت عمودی نصب شده و دارای فیلترهای صوتی نیز می باشد.

⁶³Exhaust air



فصل پنجم

کمپرسور

انواع کمپرسور

کاربردهای کمپرسورها

مکانیزم‌های ایجاد فشار در انواع کمپرسور

کمپرسور سانتریفوژ

کمپرسور رفت‌و برگشتی

کمپرسورهای پیچشی

کمپرسورهای گاز ایستگاه و اجزاء آنها

سیستم روغن کاری

پدیده سرج

انواع کمپرسور

ماشینهای جذب کننده قدرت مکانیکی که انرژی را به صورتهای مختلفی از قبیل انرژی حرارتی، انرژی جنبشی و یا پتانسیل به سیالات تراکم پذیر اعمال می کنند طیف وسیعی را شامل فن ها، دمنده ها و کمپرسورها تشکیل می دهند، از این میان کمپرسورها دارای نسبت تراکم بیشتری می باشد . کمپرسورها برحسب مکانیزم و اصول عملکرد و نحوه اعمال انرژی به سیال، به دو گروه عمده تقسیم می شوند:

- ۱ □ کمپرسورهای جابجائی مثبت^{۶۴} یا جریان منقطع^{۶۵}
- ۲ □ کمپرسورهای دینامیک^{۶۶} یا پیوسته^{۶۷}

در یک تقسیم بندی دیگر مهمترین انواع کمپرسورها که در صنعت استفاده می شوند عبارتند از:

- ۱ - کمپرسورهای رفت و برگشتی^{۶۸}
- ۲ - کمپرسورهای سانتریفوژ^{۶۹}
- ۳ - کمپرسورهای پیچشی^{۷۰}
- ۴ - کمپرسورهای حلزونی^{۷۱}
- ۵ - کمپرسورهای جریان محوری^{۷۲}

کمپرسورهای جریان محوری و سانتریفوژ در دسته کمپرسورهای دینامیک و کمپرسورهای رفت و برگشتی و چرخشی (پیچشی و حلزونی) در دسته کمپرسورهای جابجائی مثبت قرار دارند . کمپرسورهای حلزونی و پیچشی انواعی از کمپرسورهای چرخشی (rotary) هستند . طراحان براساس محدوده های خاصی که از نظر نسبت تراکم و شدت جریان گاز در مراجع وجود دارد، نوع خاصی از کمپرسور را برای هدف مورد نظر انتخاب می کنند .

کاربردهای کمپرسورها

مساله افزایش فشار در فرایندهای مختلف صنعتی، بسیار حائز اهمیت است . صنایع و زمینه های متعددی وجود دارند که در هر کدام از آنها کمپرسور نقش دارد. این زمینه ها عبارتند از:

- ❖ تهویه ساختمانها، تونل ها، معادن و کوره ها
- ❖ تأمین هوای فشرده جهت احتراق در ماشینهای احتراق داخلی و دیگهای بخار
- ❖ انتقال گاز (تأمین فشار لازم جهت جریان گاز و افتهای مسیر)
- ❖ تأمین فشار مخازن ذخیره تحت فشار
- ❖ تزریق گاز به میدان های نفتی

⁶⁴Positive Displacement

⁶⁵Intermittent

⁶⁶Dynamic

⁶⁷Continuous

⁶⁸Reciprocating Compressor

⁶⁹Centrifugal Compressor

⁷⁰Screw Compressor

⁷¹Scroll Compressor

⁷²Axial Flow Compressor

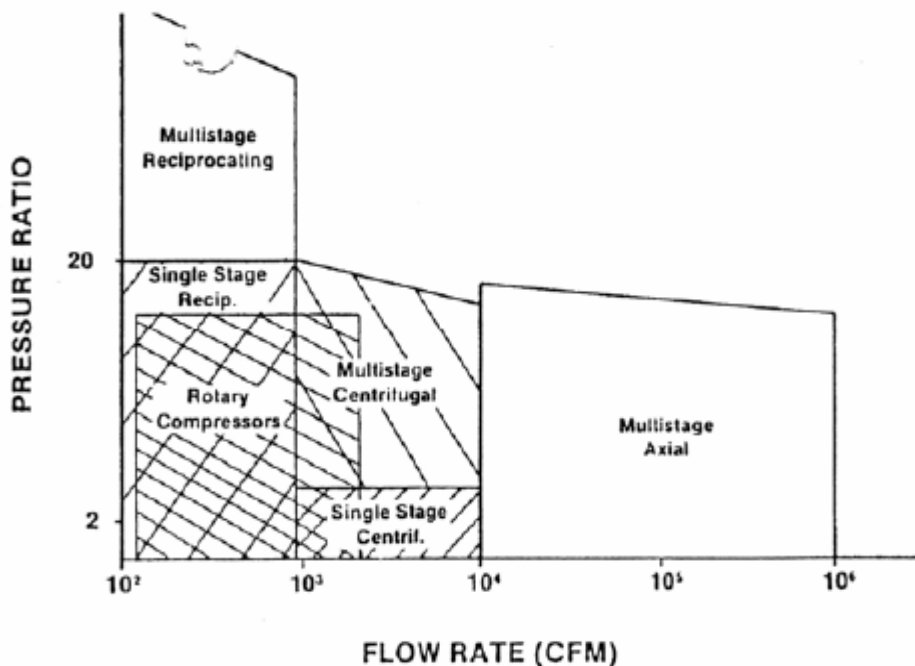
- ❖ سیستم تبرید
- ❖ فرایندهای شیمیایی و تصفیه گاز
- ❖ بالا بردن سرعت واکنشها در فرایندهای شیمیایی
- ❖ انتقال برخی پودرها توسط گاز فشرده شده

مکانیزم‌های ایجاد فشار در انواع کمپرسور

به طور کلی مکانیزم‌های ایجاد فشار به ۴ دسته تقسیم می‌شوند که عبارتند از:

۱. حبس مقدارهای پی‌درپی از گاز در نوعی محفظه، کاستن حجم، افزودن فشار و سپس تخلیه گاز فشرده به بیرون محفظه.
۲. حبس مقادیر پی‌درپی از گاز در نوعی محفظه، انتقال آن بدون تغییر حجم به طرف دریچه خروجی، تراکم گاز توسط مقاومت سیستم خروجی و سپس ارسال گاز به بیرون محفظه.
۳. تراکم گاز با عمل دینامیکی پروانه یا روتور پرمدار در حال دوران که گاز در حال عبور فشرده شده و سرعت می‌گیرد و سهم سرعت سرانجام در دیفیوزر یا پره‌های ثابت به فشار مبدل می‌شود.
۴. همراه کردن گاز با یک جت خیلی سریع از همان گاز یا یک گاز دیگر (به طور معمول اما نه الزاماً از بخار آب استفاده می‌شود) و تبدیل گاز مخلوط دارای سرعت بالا به فشار در یک دیفیوزر.

کمپرسورهای نوع اول و دوم جریان ناپیوسته بوده و معروف به جابجایی مثبت و کمپرسورهای نوع سوم و چهارم جریان پیوسته بوده و معروف به دینامیکی هستند. کمپرسورهای نوع چهارم شبیه‌واره نامیده می‌شوند و معمولاً با فشار مکش زیر اتمسفر کار می‌کنند. در حقیقت این مکانیزم‌های ایجاد و اعمال فشار مبنای تقسیمات اصلی و تفاوت‌های اساسی مابین انواع خانواده کمپرسورها قرار می‌گیرد. کمپرسورهای دینامیکی و جابجایی مثبت دارای تفاوت‌های اساسی از نظر مقادیر جریان، مقادیر فشار، قابلیت کنترل ظرفیت، تحمل در مقابل تغییرات خواص گاز، نگهداری، محدوده‌های راندمان، قابلیت اطمینان و دسترسی، شرایط نصب، فضای مورد نیاز و دیگر مشخصه‌ها هستند و این مشخصه‌ها زمینه‌های کاربرد و توانایی دستگاه را برای یک سرویس معین دیکته می‌کنند. در شکل زیر محدوده عملکرد هر یک از کمپرسورها از نظر فشار و ظرفیت بیان شده است کمپرسور گاز در ایستگاه‌های تقویت فشار گاز از نوع سانتریفوژ و کمپرسورهای هوای ابزار دقیق از نوع رفت و برگشتی و یا پیچشی می‌باشند لذا در این بخش به بررسی این کمپرسورها خواهیم پرداخت.



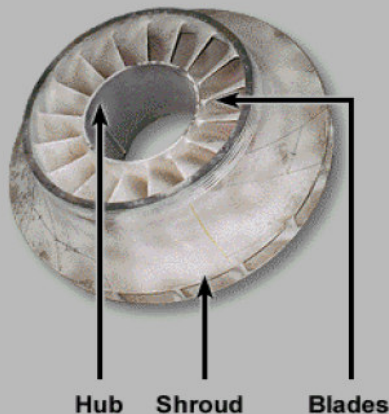
شکل ۱-۵: محدوده عملکرد کمپرسورها از نظر فشار و ظرفیت

کمپرسور سانتریفوژ

کمپرسور سانتریفوژ از نوع کمپرسورهای دینامیکی است و در آن انتقال انرژی از طریق مجموعه‌ای از پره‌های دوار به صورت ترکیبی از فشار و سرعت درآمده، و تبدیل بیشتر سرعت به فشار بعد از خروج پره‌های پروانه در جزء ثابت موسوم به دیفیوزر انجام می‌پذیرد. نمونه‌ای از یک پروانه در شکل زیر ارائه شده است.

Impellers

Closed Design



Open Design



شکل ۵-۲: کمپرسورهای سانتریفوژ برای افزایش سرعت گاز از پروانه های خاصی استفاده می کنند

کارکرد کمپرسورهای سانتریفوژ

کمپرسورهای سانتریفوژ از نوع کمپرسورهای دینامیکی هستند، یعنی بر خلاف کمپرسورهای رفت و برگشتی که در آنها تراکم گاز بوسیله یک عضو متراکم کننده (پیستون) انجام می شود، کمپرسورهای سانتریفوژ عضو متراکم کننده ای ندارند و تراکم گاز در آنها عمدتاً با نیروی گریز از مرکز و سرعتی که از چرخش سریع گاز به وسیله پروانه حاصل می شود، انجام می گیرد. پروانه⁷³ از جمله اجزای متحرک کمپرسورهای سانتریفوژ بوده و منبع تمام انرژی داده شده به گاز در طول تراکم می باشد. هنگام چرخش پروانه، انرژی داده شده به گاز توسط پره های پروانه موجب افزایش فشار استاتیکی و سرعت گاز می شود. به این صورت که نیروی گریز از مرکز وارده به گاز مابین پره ها، باعث متراکم شدن گاز می شود. علاوه بر این فشار استاتیکی، به دلیل افزایش سرعت گاز در گذر از مرکز تا محیط چرخ، افزایش می یابد. به این ترتیب افزایش کل فشار بوسیله یک پروانه برابر مجموع افزایش فشارهای استاتیکی و سرعتی است. در کمپرسورهای سانتریفوژ پروانه ها بر روی یک شفت نصب می شوند. با چرخش شفت و در نتیجه چرخش روتور، گاز به صورت محوری، یعنی در راستای محور شفت وارد پروانه شده و به صورت شعاعی، یعنی عمود بر شفت، با فشار و سرعت بالاتری خارج می شود. روتور به وسیله موتور الکتریکی یا توربین به حرکت درآمده، و گاز کم فشار و کم سرعت از قسمت مرکزی وارد چشم ورودی و یا چشمه کمپرسور شده و با چرخش توسط پروانه و افزایش فشار، از خروجی کمپرسور خارج می گردد. برای هدایت جریان گاز به دهانه پروانه با کمترین افت فشار، از پره هایی در ورودی کمپرسور و یا میان پروانه ها استفاده می شود که به آنها پره های هادی یا Guide vane گفته می شود.

⁷³ Impeller

زاویه بین این پره‌ها را می‌توان به طور دستی یا اتوماتیک تغییر داد و کارکرد کمپرسور را تنظیم کرد. در کمپرسورهای سانتریفوژ افزایش فشار گاز، صرفاً به سرعت نوک پره‌های پروانه که با سرعت دورانی شفت و قطر چرخ متناسب است، بستگی دارد. اما چون سرعت پروانه نمی‌تواند از مقدار مشخصی بیشتر باشد، افزایش فشار گاز در عبور از یک پروانه واحد نیز نمی‌تواند از محدوده خاصی بالاتر رود. در صورتی که فشار بالاتری مورد نظر باشد برای افزایش فشار گاز از دو یا چند پروانه استفاده می‌شود. در این صورت، گاز خروجی از پروانه اول که تا حدی فشرده شده است، به ترتیب وارد پروانه‌های بعدی شده و فشرده‌تر می‌گردد. غالب کمپرسورهای صنعتی چند مرحله‌ای هستند و تعداد پروانه‌های آنها، گاهی به بیش از ۱۰ عدد نیز می‌رسد.

محدوده عملکرد

کمپرسورهای سانتریفوژ از نظر تعداد مورد استفاده در صنایع، پس از کمپرسورهای رفت و برگشتی در ردیف دوم هستند و راندمان آنها مابین ۷۶٪ - ۶۸٪ قرار دارد.

محدوده ظرفیتشان ۲۰۰۰۰۰ - ۱۰۰۰ فوت مکعب در دقیقه و فشارهای خروجی آنها Psig ۱۰۰۰۰ - ۱۰ می‌باشد، که حد پایین فشار به نوع تک مرحله یا دمنده و حد بالای فشار به کمپرسورهای تقویت کننده و یا چند مرحله‌ای منسوب می‌شود. امکان آلودگی گاز با روغن در آنها وجود نداشته و هزینه تعمیرات و هزینه اولیه برای شرایط عملیاتی مشابه، پائین‌تر از نوع رفت و برگشتی است. این کمپرسورها نیاز به فونداسیون‌های سنگین ندارند و به مدت سه سال یا بیشتر می‌توانند به طور دائم کار کنند.

کاربرد کمپرسورهای سانتریفوژ

کمپرسورهای دینامیکی (سانتریفوژها و محوریها) توانایی جابجایی گازها را در حجم‌های زیاد با فشارهای متوسط و پایین دارا می‌باشند، در حالی که کمپرسورهای جابجایی مثبت قادرند فشارهای فوق‌العاده بالا را با مقدار جریان کم تأمین کنند.

کمپرسورهای سانتریفوژ هنگامی که تحت بار کامل استفاده می‌گردند، بالاترین بازدهی را در بین سایر کمپرسورها دارا می‌باشند. این بازدهی در کمپرسورهای بزرگتر بیشتر بوده و به همین دلیل در چیلرهای بزرگ بیشتر از این نوع کمپرسورها استفاده می‌شود.

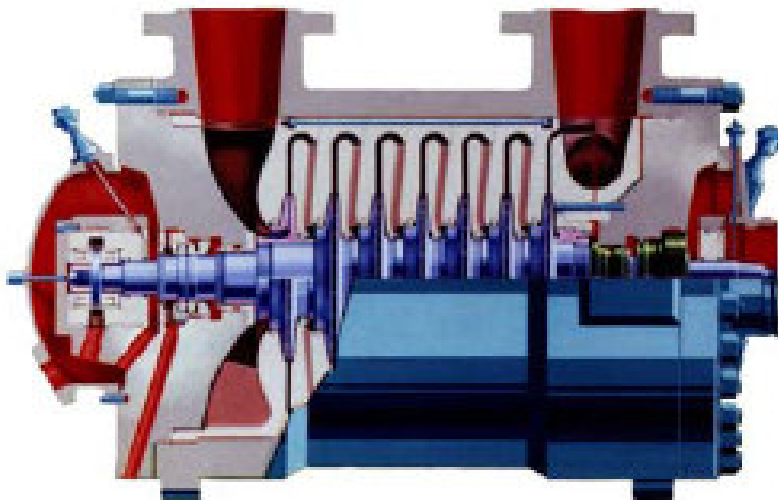
در مواردی که امکان همراه شدن مایعات با گاز (به مقدار کم) وجود داشته باشد و یا ذرات جامد در گاز موجود باشد، تنها کمپرسورهای سانتریفوژ قابل استفاده خواهند بود، اما از طرف دیگر تغییرات وزن مولکولی و دانسیته سیال برای این کمپرسورها مشکل غیرقابل‌علاجی تلقی می‌شود. کمپرسورهای سانتریفوژ مخصوصاً در فرایندهایی که دارای محدوده‌های عملیاتی خیلی وسیعی هستند کاربردهای زیادی در صنعت دارند. کمپرسورهای سانتریفوژ ابتدا به عنوان دمنده‌های هوای اتمسفریک (به طور مثال برای کوره‌ها) به کار می‌رفتند. با گذشت زمان این کمپرسورها برای فشرده کردن گازها و حتی مخلوطهای بخار با مشخصاتی که کاملاً با هوا متفاوت است بکار برده شده‌اند. شدت جریان‌های کمپرسورها در نمونه‌های مختلف متفاوت است، ولی همیشه در نسبت فشار پایین کار می‌کنند. البته در این کمپرسورها امکان افزایش شدت جریان و نسبت‌های فشرده‌سازی بسته به نیاز وجود

دارد. مهمترین کاربردهای کمپرسورهای سانتریفوژ برای تامین گاز فشرده عبارتند از:

- ❖ جریان و گردش گاز در یک فرایند
- ❖ انتقال نیرو
- ❖ غلبه بر اصطکاک مسیر در خطوط انتقال و توزیع گاز
- ❖ ایجاد شرایط مناسب در گاز برای یک واکنش شیمیایی یا خواص ترمودینامیکی مطلوب
- ❖ ثابت نگهداشتن فشار گاز در سیستمهایی که ناشی ناخواسته یا مصرف تدریجی و کاهش فشار گاز وجود دارد
- ❖ تأمین فشار لازم جهت ذخیرهسازی در مخزنها
- ❖ فرایندهای بازیافت و تزریق گاز در میدانهای نفتی
- ❖ تمیزکاری قطعات و سطوح با جت هوا، ماسه پاش، رنگ پاشی، هوازنی، همزنی مایعات،
- ❖ تخلیه مایعات از تانکرها و انتقال پودرها، مواد جامد و مایعات
- ❖ تأمین جریان هوا برای تونلهای باد و آزمایشات آیرودینامیکی
- ❖ تهویه ساختمانها، تونلها، معادن و کورهها
- ❖ تأمین هوای فشرده جهت احتراق در ماشینهای احتراق داخلی و دیگهای بخار
- ❖ سیستم تبرید
- ❖ فرایندهای شیمیایی و تصفیه گاز
- ❖ بالا بردن سرعت واکنشها در فرایندهای شیمیایی

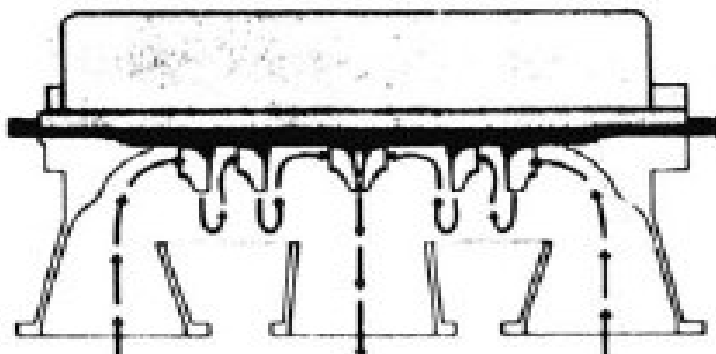
انواع کمپرسورهای سانتریفوژ

شکلهای مختلفی برای مسیر جریان سیال در کمپرسورها وجود دارد . سادهترین شکل، حالتی است که در شکل زیر نشان داده شده است . در این حالت کمپرسور فقط دو نازل دارد یکی ورودی و دیگری خروجی . گاز از نازل ورودی وارد کمپرسور شده و پس از عبور از یک یا چند مرحله افزایش فشار از نازل خروجی خارج میشود.



شکل ۳-۵: شماتیکی از یک کمپرسور با یک جریان ورودی و یک جریان خروجی

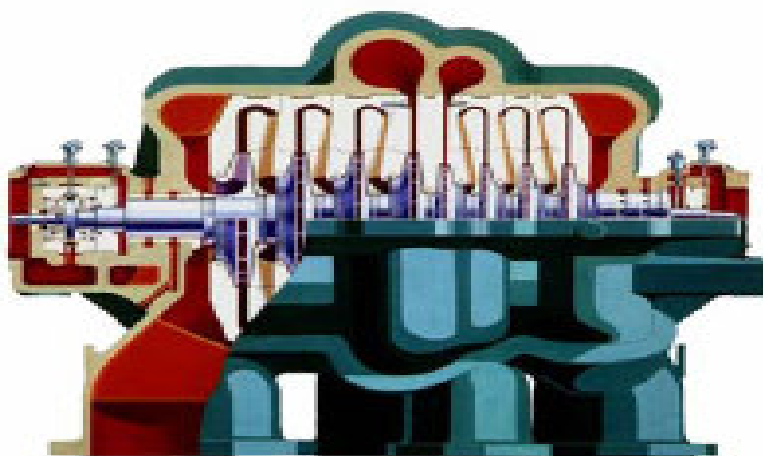
در صورتیکه شدت جریان گاز بالا، و اختلاف فشار کمی در کمپرسور، مورد نیاز باشد، سازندگان اغلب اندازه کمپرسور را با به کارگیری دو جریان ورودی که در شکل زیر نشان داده شده است کاهش می‌دهند. در این حالت سیال ورودی به دو بخش مساوی تقسیم شده و از دو انتهای کمپرسور وارد آن می‌شود. گاز پس از فشرده شدن از نازل خروجی که در وسط کمپرسور قرار دارد، خارج می‌شود. در این حالت قطر خارجی کمپرسور و هزینه ساخت آن کاهش می‌یابد. در نتیجه، این روش راهی است که می‌توان ظرفیت بدنه کمپرسور را دو برابر کرد.



شکل ۴-۵: شماتیک یک کمپرسور با دو جریان ورودی و یک جریان خروجی

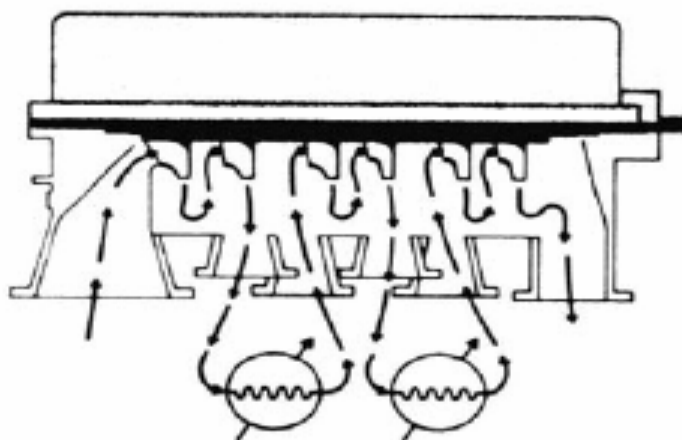
برای حالت‌هایی که دمای گاز به علت افزایش فشار به شدت افزایش می‌یابد، باید با استفاده از خنک کردن گاز دمای خروجی را در حد قابل قبولی نگه داشت. یک راه برای انجام این کار استفاده از دو کمپرسور با یک مبدل حرارتی که مابین آنها قرار دارد می‌باشد. البته برای سرد کردن، سازندگان می‌توانند از خنک‌کن‌های داخلی استفاده کنند. در این صورت در واقع دو کمپرسور در یک محفظه قرار خواهند داشت در این حالت گاز از نازل ورودی، وارد کمپرسور شده و از یک نازل خروجی میانی وارد یک مبدل حرارتی خارجی می‌شود و پس از سرد شدن، دوباره از بخش میانی

محفظه کمپرسور وارد آن شده و دوباره فشرده می‌شود. در نهایت گاز از آخرین نازل خروجی خارج شده و به سیستم خط لوله وارد می‌شود.



شکل-۵: شماتیک یک کمپرسور با خنک‌کن میانی

گازهای با وزن مولکولی بالا نسبت به گازهای با وزن مولکولی پایین سریع‌تر گرم می‌شوند. در این موارد سازندگان از کمپرسورهایی با یک بدنه و دو خنک‌کن میانی استفاده می‌کنند. در این صورت گاز از دو نازل در قسمتهای میانی بدنه برای سرد شدن خارج شده و دوباره وارد می‌شود.

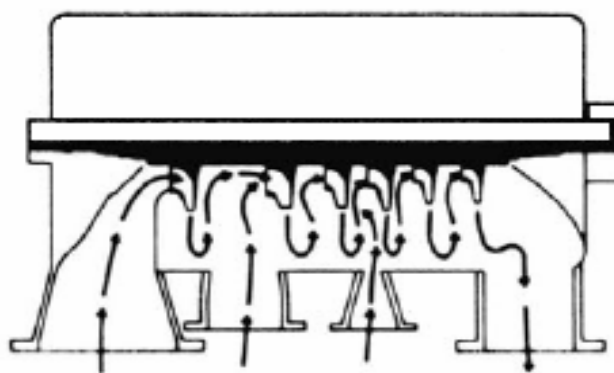


شکل-۶: شماتیکی از یک کمپرسور با دو خنک‌کن میانی

وجود هر خنک‌کن میانی مستلزم استفاده از دو نازل اضافی در بدنه کمپرسور و در نتیجه افزایش فضای اشغال شده توسط آن می‌باشد، بنابراین

حداکثر تعداد دفعات سرمایش در کمپرسور دارا ی یک بدنه ، دو مرتبه می باشد.

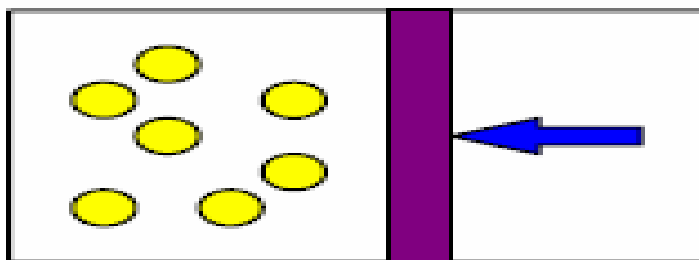
در بعضی از فرایندهای سرمایش، مراحل فشردم سازی مختلفی مورد نیاز است . سازنده می تواند این کار را با استفاده از جریان های جانبی انجام دهد . در این حالت جریان اصلی گاز از نازل ورودی وارد می شود و پس از گذشتن از چند مرحله برای فشردم سازی جریان دیگری در داخل بدنه با آن مخلوط شده و به مرحله بعدی کمپرسور وارد می شود . در صورت نیاز، گاز فرایندی می تواند پس از خروج از نازل خروجی میانی و قبل از ورود به نازل ورودی دوم وارد یک خنک کن شود.



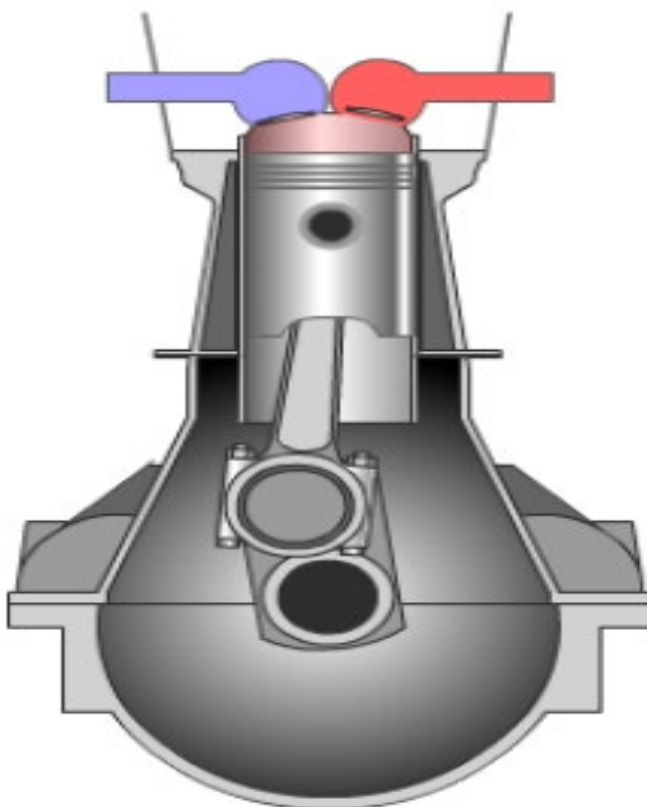
شکل ۷-۵: شماتیکی از یک کمپرسور با جریان جانبی

کمپرسور رفت و برگشتی

کمپرسورهای رفت و برگشتی از جمله قدیمی ترین کمپرسورها می باشند که در حال حاضر جایگاه مهمی را در میان کمپرسورهای کوچک و متوسط بدست آورده اند. این نوع از کمپرسورها شبیه تلمبه باد دو چرخه کار می کنند. این کمپرسورها قادرند فشارهای خیلی بالا را با مقدار جریان اندک تأمین کنند، بنابراین کاربرد اصلی این کمپرسورها برای ایجاد فشارهای خیلی بالاست.



B A



شکل ۹-۵: کمپرسور Single Acting

محدوده عملکرد

کمپرسورهای رفت و برگشتی از نظر تعداد مورد استفاده در صنایع، نسبت به دیگر انواع کمپرسورها مقام اول را دارند. این کمپرسورها برای تمام فشارها از خلاء تا حدود ۱۰۰۰۰۰ psi مناسب هستند و نیز برای مقادیر جریان از ۵۲ فوت مکعب در دقیقه تا ۱۰۰۰۰ فوت مکعب در دقیقه به ازای هر سیلندر طراحی و ساخته می‌شوند.

راندمان آنها از ۹۰٪-۸۰٪ تغییر می‌کند و برای نسبت‌های تراکم بالاتر از ۵ بیشترین راندمان را نسبت به دیگر انواع دارند. کمپرسورهای پیستونی در فشارها و وزن‌های مولکولی متغیر به راحتی کار می‌کنند.

به طور معمول بالاترین راندمان کمپرسورهای رفت و برگشتی از راندمان کمپرسورهای سانتریفوژی و پیچشی کمتر است. مکش گاز، تخلیه گاز متراکم شده از طریق شیرهای تخلیه^{۷۴} و اصطکاک‌های ایجاد شده از جمله عوامل مؤثر در کاهش بازدهی در این نوع از کمپرسورها می‌باشند. یکی دیگر از عوامل مؤثر در پایین بودن بازدهی این نوع از کمپرسورها کوچک بودن

⁷⁴ Discharge valve

اندازه این کمپرسورها است . در کمپرسورهای کوچک تر نسبت بیشتری از انرژی ورودی به کمپرسور، صرف اصطکاک ایجاد شده در آن می‌گردد.

کاربرد کمپرسورهای رفت و برگشتی

مهمترین کاربردهای کمپرسورهای رفت و برگشتی برای تامین گاز فشرده عبارتند از:

- ◀ جریان و گردش گاز در یک فرایند
- ◀ انتقال نیرو
- ◀ غلبه بر اصطکاک مسیر در خطوط انتقال و توزیع گاز
- ◀ ایجاد شرایط مناسب در گاز برای یک واکنش شیمیایی یا خواص ترمودینامیکی مطلوب
- ◀ ثابت نگهداشتن فشار گاز در سیستم‌هایی که نشتی ناخواسته یا مصرف تدریجی و کاهش فشار گاز وجود دارد.
- ◀ تامین فشار لازم جهت ذخیره‌سازی در مخزن‌ها
- ◀ فرایندهای بازیافت و تزریق گاز در میدان‌های نفتی
- ◀ تمیزکاری قطعات و سطوح با جت هوا، ماسه پاش، رنگ پاشی، هوازنی، همزنی مایعات، تخلیه مایعات از تانکرها و انتقال پودرها، مواد جامد و مایعات
- ◀ تامین جریان هوا برای تونلهای باد و آزمایشات آیرودینامیکی
- ◀ تهویه ساختمانها، تونل ها، معادن و کوره ها
- ◀ تامین هوای فشرده جهت احتراق در ماشینهای احتراق داخلی و دیگهای بخار
- ◀ سیستم تبرید
- ◀ فرایندهای شیمیایی و تصفیه گاز
- ◀ بالا بردن سرعت واکنشها در فرایندهای

محدودیتها

- ❖ برای سرویسهای جریان پیوسته با حجم زیاد بیش از یک کمپرسور نیاز خواهد بود.
- ❖ غالباً بزرگ و گران بها هستند
- ❖ هزینه تعمیرات بالایی دارند خصوصاً برای جابجایی گازهای دارای ذرات مایع، جامد و خورنده
- ❖ با توجه به نیروهای لرزشی بالا، نیاز به فونداسیون‌های بزرگ دارند

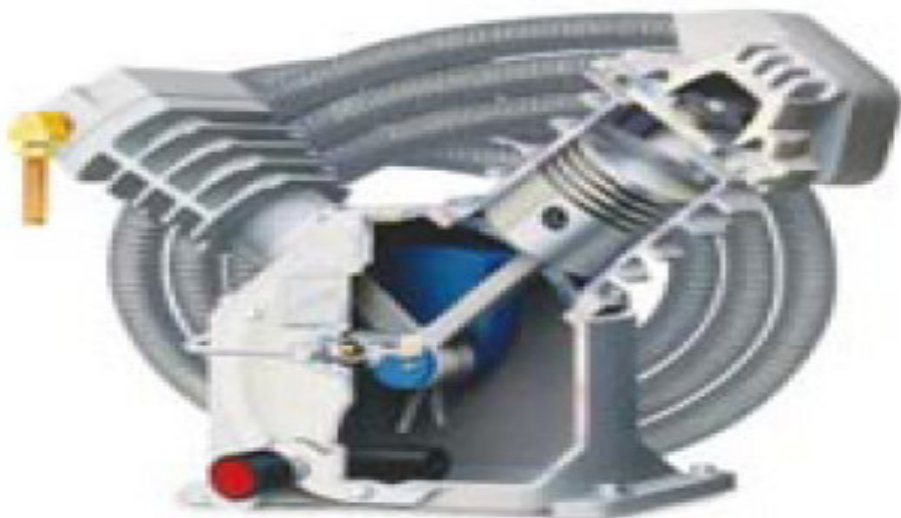
در کمپرسورهای رفت و برگشتی همان گونه که انتظار می‌رود، رفت یا بازگشت پیستون عمل تراکم را انجام می‌دهد . در این حالت موتور تنها در نصف دوره تحت بار قرار گرفته و در نیمه بعدی بدون بار، کار می‌کند . این روش کار کردن موتور می‌تواند مشکلاتی را برای موتور ایجاد کرده و در کل می‌تواند راندمان کاری را پایین آورد . برای رفع این مشکل معمولاً در کمپرسورها تراکم ، هم در عمل رفت و هم در عمل بازگشت انجام می‌شود . روش معمول برای این کار استفاده از دو پیستون در دو جهت مختلف می‌باشد . بدین ترتیب هنگامی که يك پیستون در حال تراکم است پیستون دیگر در حال مکش بوده و در نیم دوره بعد، عملیات هر کمپرسور تعویض می‌گردد . این نوع از کمپرسورها به شکل‌های مختلفی طراحی و ساخته شده اند که در شکل (۱-۱۳) یکی از آنها مشاهده می‌شود. به طور کلی

کمپرسورهاي چند مرحله اي کاربرد بسيار بيشتري نسبت به کمپرسورهاي يك مرحله اي دارند.



شكل ۱۰-۵: كمپرسورهاي رفت و برگشتي Double acting و چند مرحله اي داراي بالاترين بازدهي و بالاترين قيمت در بين كمپرسورهاي هستند.

در صورتي كه فشار مورد نياز براي گاز خروجي بالا باشد استفاده از يك مرحله تراكم ممكن نيست. راه حل پيشنهادي در اين مورد، استفاده از دو يا چند كمپرسور پشت سر هم مي باشد كه خروجي متراكم شده در هر كمپرسور وارد كمپرسور بعدي شود. اين روش مقذور بوده و قابل استفاده مي باشد. اما به دليل هزينه بالاي كمپرسورها، طراحان ترجيح مي دهند تا جايي كه ممكن است مراحل تراكم را در تعداد كم تري كمپرسور قرار دهند. به طور مثال زماني كه نياز به دو كمپرسور براي انجام دو مرحله تراكم مي باشد، دو مرحله را در يك كمپرسور قرار داده و به اين ترتيب صرفه جويي قابل ملاحظه اي در هزينه ساخت كمپرسور صورت مي گيرد. شكل زير نمونه اي از اين كمپرسورها را نشان مي دهد كه داراي دو مرحله تراكم مي باشد.



شکل ۵-۱۱: فشارهای بالا به وسیله یک مرحله تراکم قابل دسترسی نمی‌باشد. به همین دلیل کمپرسورهایی با تعداد مراحل بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد

بحث ایجاد حرارت در اثر تراکم از اهمیت خاصی برخوردار است که برای رساندن بازدهی کمپرسور به حد قابل قبولی باید به آن توجه کافی نمود. باید توجه داشت که در اثر اعمال فشار به گاز، دمای آن بالا رفته و در صورتی که همین گاز را بدون تغییر دما وارد مرحله بعدی نماییم، راندمان کاری کمپرسور بسیار کاهش یافته و علاوه بر این می‌تواند مشکلات دیگری را نیز در کمپرسور ایجاد نماید. به همین دلیل لازم است بعد از هر مرحله تراکم و قبل از مرحله بعد دمای گاز را به نحوی کاهش داد. استفاده از خنک کننده های هوایی^{۷۵} و مبدل^{۷۶} برای این کار مرسوم بوده و بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. به این ترتیب گاز متراکم شده در هر مرحله با خنک شدن در این دستگاهها، قابلیت تراکم تا فشارهای بالاتر را نیز پیدا می‌کند.

کمپرسورهای پیچشی

کمپرسورهای پیچشی مانند کمپرسورهای رفت و برگشتی یکی از انواع کمپرسورهای جابجایی مثبت هستند، یعنی کمپرسورهایی که با محبوس کردن گاز ورودی و کاهش حجم آن توسط یک عضو متراکم کننده سبب افزایش فشار گاز می‌شوند. در اثر حرکت عضو متراکم کننده، فاصله مولکولهای گاز موجود در ظرف کمتر شده و برخورد آنها با یکدیگر بیشتر می‌شود. در نتیجه مولکولها نیروی بیشتری به ظرف وارد می‌کنند و این موضوع نشان دهنده این است که فشار گاز، افزایش یافته است. در کمپرسورهای رفت و برگشتی، این عضو متراکم کننده، پیستون نامیده می‌شود اما در کمپرسورهای پیچشی، عضو متراکم کننده مارپیچه‌ای به نام male است. در واقع کار مارپیچه male

⁷⁵ Air cooler

⁷⁶ Heat exchanger

در کمپرسورهای پیچشی دقیقاً مشابه وظیفه پیستون در کمپرسورهای رفت و برگشتی است. روی مارپیچه male چند برآمدگی به صورت مارپیچ وجود دارد که مانند مارپیچه دستگاه چرخ گوشت، با چرخش مارپیچه، حرکت رو به جلویی را برای گاز تداعی می کنند. ظرف حاوی گاز در کمپرسورهای رفت و برگشتی سیلندر و در کمپرسورهای پیچشی مارپیچه ای به نام female است که وظایف آنها عیناً مشابه هم است و هر دو نقش ظرفی را بازی می کنند که گاز درون آن قرار گرفته و متراکم می شود. در کمپرسورهای پیچشی مارپیچه های female و male هر دو دارای شیارهایی هستند. در این کمپرسورها ابتدا گاز ورودی کل حجم یک شیار مارپیچه female را در برمی گیرد. با چرخش یک محرک که یک موتور الکتریکی و یا یک توربین است، حرکت چرخشی به مارپیچه male منتقل می شود و در نتیجه مارپیچه male شروع به چرخیدن می کند با چرخش مارپیچه male مارپیچه female نیز که با آن درگیر است، به چرخش در می آید. برآمدگیهای روی مارپیچه male به تناوب درون شیارهای مارپیچه Female حرکت می کنند و به تدریج حجم گاز محبوس شده موجود در شیارها کاهش یافته و فشار گاز افزایش می یابد. تراکم گاز تا زمانی ادامه می یابد که فضای مابین پره ها به مجرای خروجی شیارها متصل شده، گاز متراکم شده از طریق آن خارج شود. هر کدام از شیارهای مارپیچه female به ترتیب به مجرای خروجی می رسند و گاز فشرده شده را درون مجرای خروجی تخلیه کرده و مجدداً از هوای کم فشار پر می شوند و این سیکل به تناوب تکرار می شود. مقطعی از یک کمپرسور پیچشی در شکل زیر نشان داده شده است.

محدوده عملکرد

محدوده عملکرد کمپرسورهای پیچشی تا ۴۵ Psig، با فشار مکش در حد اتمسفر بصورت تک مرحله و تا فشارهای ۲۵۰ Psig بصورت چند مرحله می باشد. دامنه ظرفیت در آنها مابین ۳۵۰۰۰-۵۰۰ فوت مکعب در دقیقه گزارش شده است. این کمپرسورها از نظر محدوده کاربرد مابین کمپرسورهای سانتریفیوژ و رفت و برگشتی قرار دارند. دریک محدوده عملیاتی معین قیمت کمپرسورهای پیچشی کمتر از نوع سانتریفیوژ و رفت و برگشتی است و راندمان آنها در محدوده ۸۵%-۷۵٪ قرار دارد. این کمپرسورها توانایی فشرده کردن گازهای دارای پلیمر یا قیر را دارا بوده و در این شرایط راندمان بالاتری نسبت به گاز خالص دارند.



شکل ۵-۱۲: مقطعی از یک کمپرسور پیچشی

کاربردهای کمپرسورهای پیچشی

اصولاً کمپرسورهای چرخشی برای جابجایی گازهای تشکیل دهنده پلیمر و گازهای حاوی قطرات مایع مورد استفاده قرار می‌گیرند. عیب اصلی آنها ایجاد سر و صدای زیاد و عدم توانایی آنها برای جابجایی گازهای حاوی ذرات جامد شناخته شده است. در صورت نیاز به کمپرسورهای بدون روغن (Oil free) کمپرسورهای چرخشی نوع پیچشی انتخاب مناسبی خواهند بود. اما با توجه به این که کمپرسورهای پیچشی اغلب توسط روغن آب بندی می‌شوند در این موارد برای جلوگیری از نشتی گاز، لازم است مارپیچه‌های کمپرسور با سرعت بالاتری بچرخند که این عمل باعث افزایش صدا در این نوع از کمپرسورها می‌شود. البته در این نوع کمپرسورها از آب بندهای خاصی برای جلوگیری از نشتی استفاده می‌شود. در مواردی که نیاز به بهره‌برداری در ظرفیت‌های بسیار پایین‌تر از ظرفیت کامل وجود دارد، انتخاب این کمپرسورها مناسب است، چون این نوع کمپرسورها بدون مشکل می‌توانند در ظرفیت‌هایی نزدیک به ۱۰٪ ظرفیت کامل خود کار کنند. علاوه بر این، می‌توان این کمپرسورها را به محض افت شدید بار خاموش و روشن نمود، که مزیت بسیار مهمی نسبت به کمپرسورهای سانتریفوژ به حساب می‌آید.

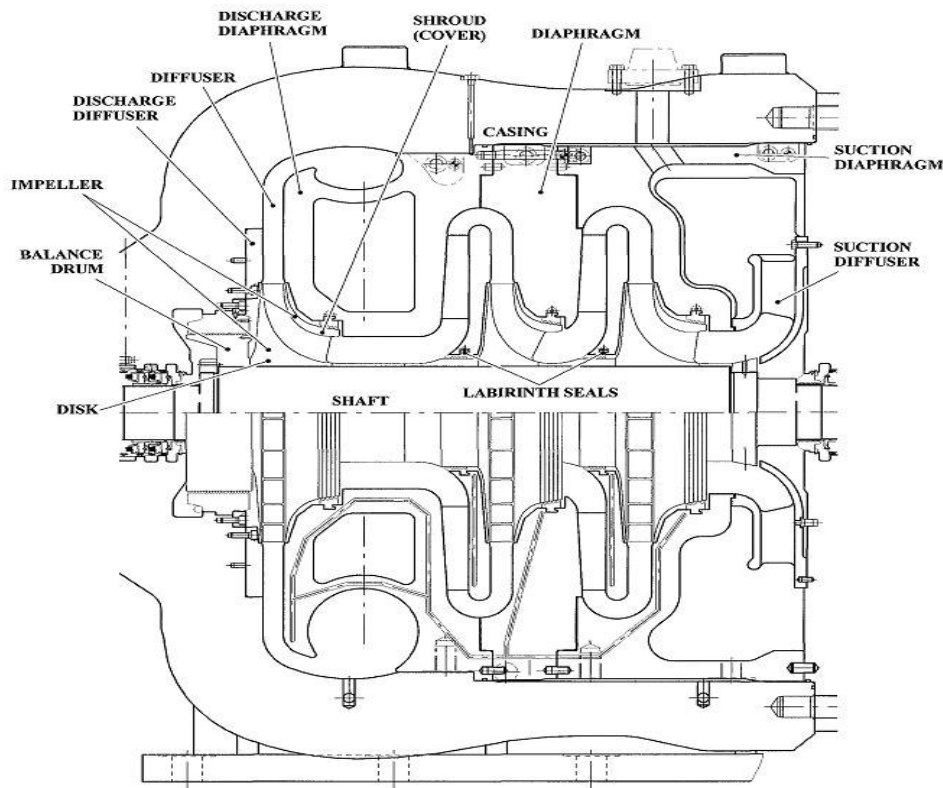
یکی دیگر از مزایای این کمپرسورها قابل تغییر بودن نسبت تراکم در آنها است. این عملیات به کمک خروجی‌های خاصی که در طول مسیر مارپیچه‌ها پیش بینی شده انجام می‌گیرد.

مهمترین کاربردهای کمپرسورهای پیچشی برای تامین گاز فشرده عبارتند از:

- ❖ جریان و گردش گاز در یک فرایند
- ❖ انتقال نیرو
- ❖ غلبه بر اصطکاک مسیر در خطوط انتقال و توزیع گاز
- ❖ ایجاد شرایط مناسب در گاز برای یک واکنش شیمیایی یا خواص ترمودینامیکی مطلوب
- ❖ ثابت نگه داشتن فشار گاز در سیستم‌هایی که نشتی ناخواسته یا مصرف تدریجی و کاهش فشار گاز وجود دارد.
- ❖ تامین فشار لازم جهت ذخیره‌سازی در مخزن‌ها
- ❖ فرایندهای بازیافت و تزریق گاز در میدانهای نفتی
- ❖ تمیزکاری قطعات و سطوح با جت هوا، ماسه پاش، رنگ پاشی، هوازنی، همزنی مایعات، تخلیه مایعات از تانکرها و انتقال پودرها، مواد جامد و مایعات
- ❖ تامین جریان هوا برای تونلهای باد و آزمایشات آیرودینامیکی
- ❖ تهویه ساختمان‌ها، تونل‌ها، معادن و کوره‌ها
- ❖ تامین هوای فشرده جهت احتراق در ماشینهای احتراق داخلی و دیگهای بخار
- ❖ سیستم تبرید
- ❖ فرایندهای شیمیایی و تصفیه گاز
- ❖ بالا بردن سرعت واکنش‌ها در فرایندهای شیمیایی

برای ایستگاههای مختلف ، کمپرسورهای متفاوتی در نظر گرفته شده و شرح همه آن ها در این مقال اندک نمی گنجد بنابرین جهت آشنایی خوانندگان محترم به شرح مختصری از کلیاتی که تقریباً در اکثر آنها مشترک است را با محوریت کمپرسور گریز از مرکز ساخت شرکت ایتالیایی NUOVO PIGNONE خواهیم پرداخت . کمپرسورهای گاز ایستگاهها از نوع گریز از مرکز (سانتریفوژ) می باشند و به طور ویژه برای دریافت گاز از خطوط لوله طراحی شده اند.

هر کمپرسور لزوماً شامل قسمت های استاتیک (بدنه - هد- دیافراگم- آب بندها و تکیه گاه ها) و قسمت های متحرک (روتور که از شافت، پره ها و محفظه بالانس تشکیل شده است) می باشد. شکل زیر شمای داخلی این کمپرسورها را نشان می دهند.



شکل ۵-۱۳: نمای داخلی یک کمپرسور گریز از مرکز گاز با سه پروانه

دیافراگم ها و دیفیوزرها

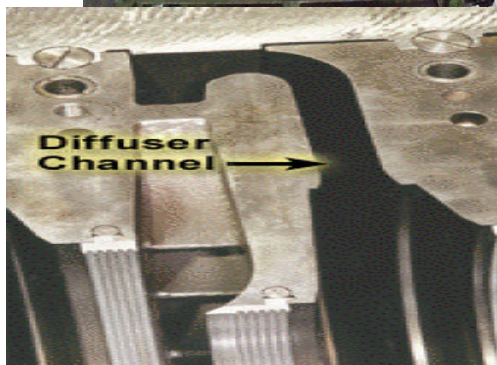
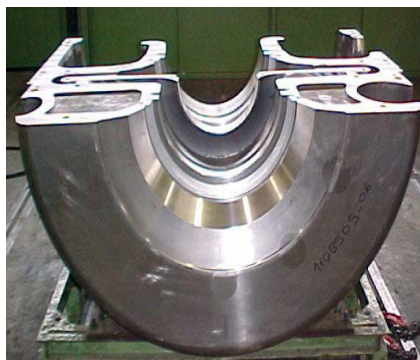
مجموعه دیافراگم حول روتور سوار شده و قسمت های ساکن مراحل کمپرسور را می سازد.

یک دهانه مدور در میان دیافراگم ها وجود دارد که همان دیفیوزر^{۷۷} می باشد. دیفیوزر انرژی دینامیکی گاز در خروجی پره ها را به فشار تبدیل می کند. یک دیفیوزر که جریان

⁷⁷Diffuser

گاز را بطور محوري به ورودی اولین پره هدایت می‌کند، در جلوی دیافراگم ورودی قرار گرفته است. این دیفیوزر شامل یک رینگ ریختگی می‌باشد که مستقیماً روی هد بدنه ثابت شده است و توسط یک پین^{۷۸} در موقعیت صحیح حفظ می‌شود.

آببندهای شانه‌ای^{۷۹} روی دیافراگم و نزدیک به چشم پره‌ها نصب می‌شوند تا نشتی گاز از ورودی و خروجی گاز به حداقل برسد. یک آببند نیز بصورت اورینگ در طول دیافراگم مرحله سوم و دور بدنه، در محل اتصال آنها قرار دارد. این اورینگ از نشتی گاز بین قسمت‌هایی که فشارهای مختلف دارند، جلوگیری می‌کند. مجموعه روتور و دیافراگم‌ها در داخل بدنه توسط شانه‌ای که در بدنه ایجاد شده است و بوسیله پین تنظیم موقعیت که بین این مجموعه و هد بدنه قرار دارد، تنظیم و نگه داشته می‌شود.



شکل ۵-۱۵: نمای بالایی دیافراگم و دیفیوزر

شکل ۵-۱۶: نیمه‌ای از دیافراگم موجود در آن

روتور

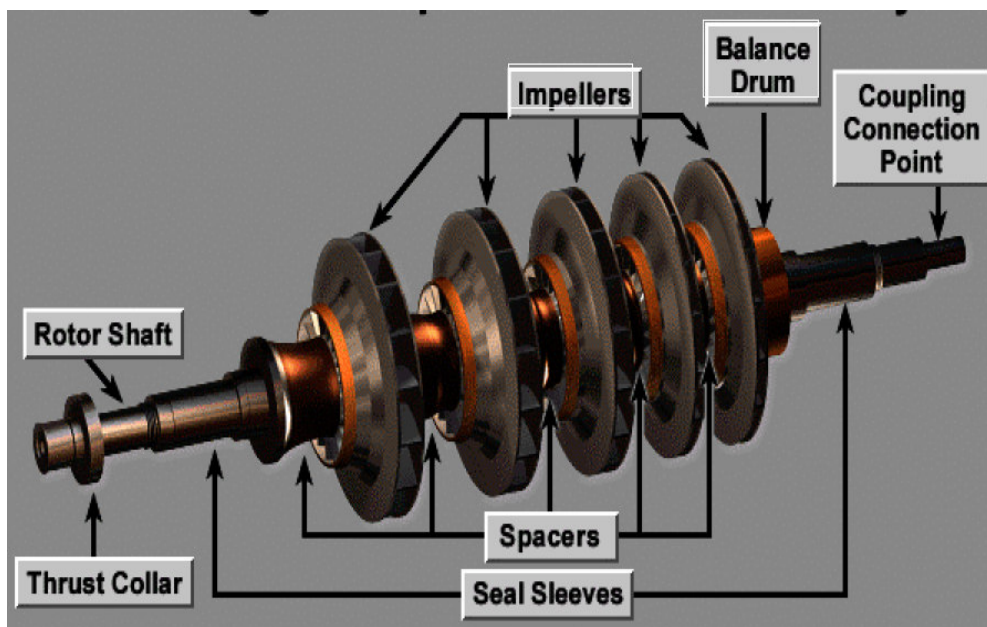
روتور شامل یک شافت می‌باشد که پره‌ها و فاصله‌اندازها^{۸۰} روی آن سوار می‌شوند. اسپیسرها روی شافت جا زده شده‌اند و موقعیت محوری پره‌ها را حفظ می‌کنند. همچنین سطوحی از شافت که بین پره‌ها وجود دارد، توسط اسپیسرها از تماس با گاز حفاظت

^{۷۸} Positioning Pin

^{۷۹} Labyrinth Seal

^{۸۰} Spacer

می‌شوند. پره‌ها قسمتی از کمپرسور گریز از مرکزی می‌باشند که باعث افزایش سرعت گاز می‌شوند. پره‌ها از نوع بسته با تیغه‌های رو به عقب هستند که بر روی شافت نصب شده و توسط خارهایی نگهداشته شده‌اند. هر پره قبل از نصب از نظر دینامیکی، باید تست بالانس در سرعتی معادل ۱۵۰٪ بالاتر از ماکزیمم سرعت پیوسته کاری را پشت سر بگذارد. در حین کار کمپرسور، روتور تحت یک نیروی محوری در جهت ورودی قرار دارد که این نیرو بر اثر اختلاف فشار طرفین پره‌ها ایجاد می‌شود. قسمت عمده این نیرو توسط محفظه بالانس^{۸۱} متعادل و خنثی می‌شود. نیروی محوری باقیمانده توسط یاتاقان‌های کفگرد محوری^{۸۲} جذب و تحمل می‌شود. در شکل زیر روتور یک کمپرسور گاز با پنج پروانه نشان داده شده است.



شکل ۵-۱۶: روتور کمپرسور گاز و متعلقات آن

محفظه بالانس

قسمت عمده‌ای از نیروی محوری توسط محفظه بالانس یا بالانس درام متعادل می‌شود، این درام بر روی انتهای شافت و نزدیک به آخرین پره نصب شده است. بالانس درام لایبرنت مربوط به آن، همراه با لایبرنتی که در انتهای شافت تعبیه شده است، اتافک بالانس^{۸۳} را تشکیل می‌دهند. کنترل و بالانس نیرو توسط بالانس درام، با قراردادن قسمت خارجی بالانس درام تحت یک فشار کم (تقریباً برابر با فشار ورودی)، و ایجاد یک اختلاف فشار در خلاف جهت نیرویی که به پره‌ها وارد می‌شود، انجام می‌گیرد. این فشار کم بوسیله اتصالی که از ناحیه مکش کمپرسور به پشت بالانس درام کشیده شده و خط بالانس^{۸۴} نام دارد، فراهم می‌شود. سائیز بالانس درام طوری است که اگرچه نمی‌توان تمام نیروی محوری را خنثی کرد، ولی حداکثر تعادل در این نیرو ایجاد می‌شود. نیروی باقیمانده توسط یاتاقان‌های کفگرد بطوری جذب می‌شود که روتور در جهت محوری

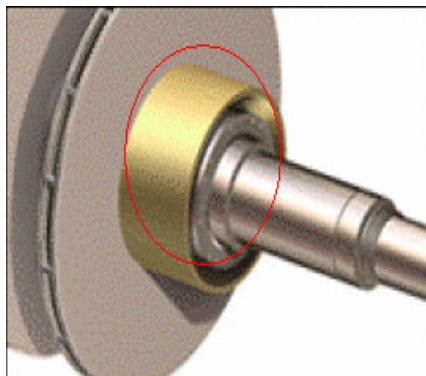
⁸¹ Balance drum

⁸² Thrust Bearing

⁸³ Balancing Chamber

⁸⁴ Balance Gas Line

هیچ حرکتی نداشته باشد. بعد از اینکه بالانس درام بر روی روتور نصب شد، روتور دوباره از نظر بالانس دینامیکی تست و بررسی می‌شود.

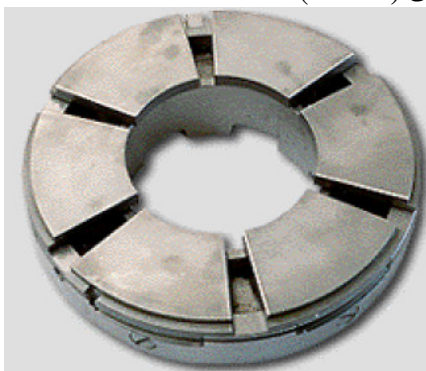


شکل ۵-۱۷: نحوه قرارگیری بالانس درام روی روتور

یاتاقان‌ها

کمپرسورها دارای دو نوع یاتاقان ژورنال و کف گرد می‌باشند. یاتاقان‌های ژورنال از نوع بالشتکی روپوش دار یا تکه‌ای روپوش دار^{۸۵} با روغنکاری تحت فشار می‌باشند. روغن تحت فشار بطور شعاعی در یاتاقان‌ها جریان داشته و با گذر از سوراخ‌ها، بالشتک‌ها و بلوک‌ها را روغنکاری کرده و سپس از طرفین یاتاقان تخلیه می‌شود.

یاتاقان‌های کف‌گرد از نوع عملگر دوگانه می‌باشند که در یک انتهای روتور قرار گرفته‌اند. عملکرد دوگانه در این یاتاقان‌ها به این معنی است که این یاتاقان با قرار گرفتن در طرفین یک رینگ حلقه‌ای که بر روی روتور ایجاد شده است، از حرکت محوری روتور در هر دو جهت جلوگیری می‌کند. این یاتاقان‌ها به منظور جذب باقیمانده نیروی محوری که توسط بالانس درام متعادل نمی‌شود، بکار می‌روند، و به منظور جلوگیری از افت توان و کارایی که در نتیجه کف کردن روغن در یاتاقان تحت سرعت بالا ایجاد می‌شود، در این یاتاقان‌ها از حلقه‌های کنترل روغن (O.C.R)^{۸۶} استفاده شده است.



شکل ۵-۱۸: یاتاقان شعاعی (سمت راست) و یاتاقان محوری کمپرسور گاز

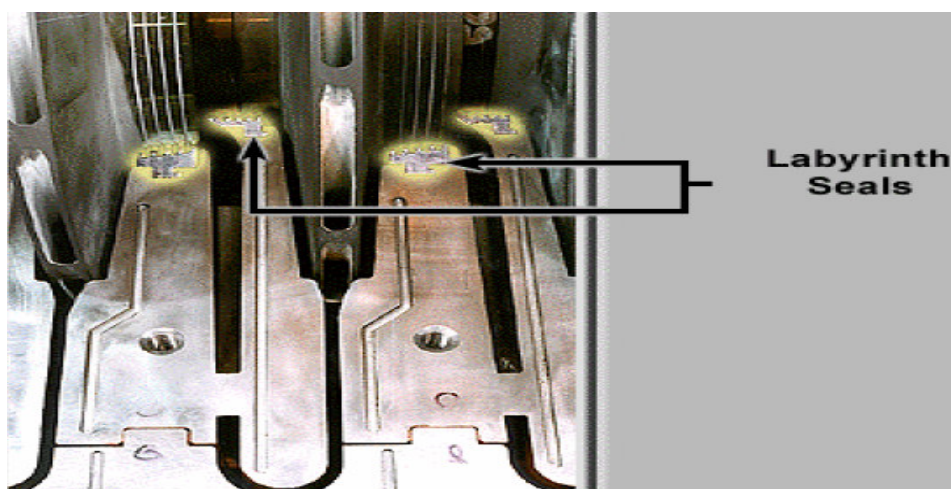
^{۸۵}Tilting Pad

^{۸۶}Oil Control Ring

آب‌بندها یا سیل‌های شانهای جزء سیل‌های داخلی بوده و بین قسمت‌های در حال چرخش و ثابت کمپرسور، به منظور کاهش نشتی گاز بین نواحی با فشار مختلف استفاده می‌شوند. سیل‌های شانهای به شکل یک حلقه و بصورت یک سری پره یا فین^{۸۸} ریز است که با روتور لقی^{۸۹} کمی دارد. این حلقه پیرامون قسمتی که آب‌بندی می‌شود قرار گرفته و بصورت دو یا چهار تکه و از آلیاژ نرم که در برابر خوردگی مقاوم است ساخته می‌شود، تا در صورت تماس با روتور از خرابی و صدمه به روتور جلوگیری شود. نیمه بالایی لایرنیت به دیافراگم متناظر بسته شده ولی قسمت پایینی می‌تواند با چرخش در شیار نشیمنگاه خود در دیافراگم مربوطه، به راحتی حرکت کند. موقعیت‌هایی از روتور که آب‌بند لایرنیتی در آنجا بکار رفته است عبارتند از:

- ◀ دیسک‌های پره‌ها
- ◀ بوش‌های شافت بین پره‌ها و بالانس درام

آب‌بند مشابهی نیز در انتهای روتور قرار داده شده تا نشتی گاز به بیرون کمپرسور محدود شود.



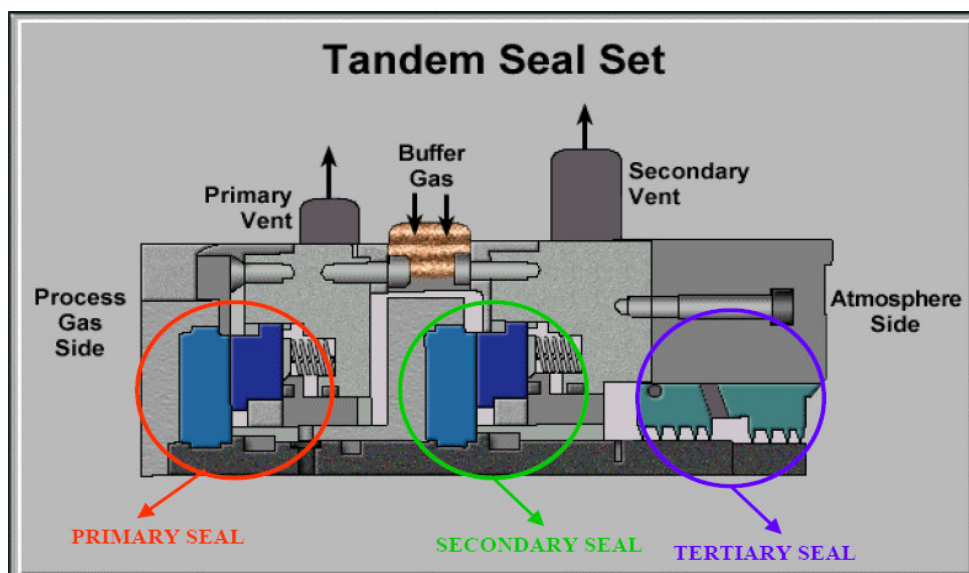
شکل ۵-۱۹: نحوه قرارگیری آب‌بندهای شانهای در دیافراگم کمپرسور گاز

^{۸۷} Labyrinth Seals

^{۸۸} Fin

^{۸۹} Clearance

آب‌بندهای گازی خشک در دو انتهای شافت کمپرسور واقع شده‌اند و از نشت گاز به بیرون از دستگاه کمپرسور جلوگیری می‌کنند. این آب‌بندها شامل آب بندهای لایبرنتی و دو آب‌بند گازی پشت سرهم می‌باشند. این دو آب‌بند گازی هر کدام از یک رینگ چرخان (بعنوان نشیمنگاه) از جنس کاربید تنگستن و یک رینگ ثابت از جنس کربن تشکیل شده‌اند. شکل زیر طرز قرارگیری و اجزای مختلف این آب‌بند را نشان می‌دهد. آب‌بند داخلی که در سمت گاز قرار دارد عمل آب‌بندی را طوری انجام می‌دهد که آب‌بند بعدی به عنوان آب‌بند رزرو کار کند.



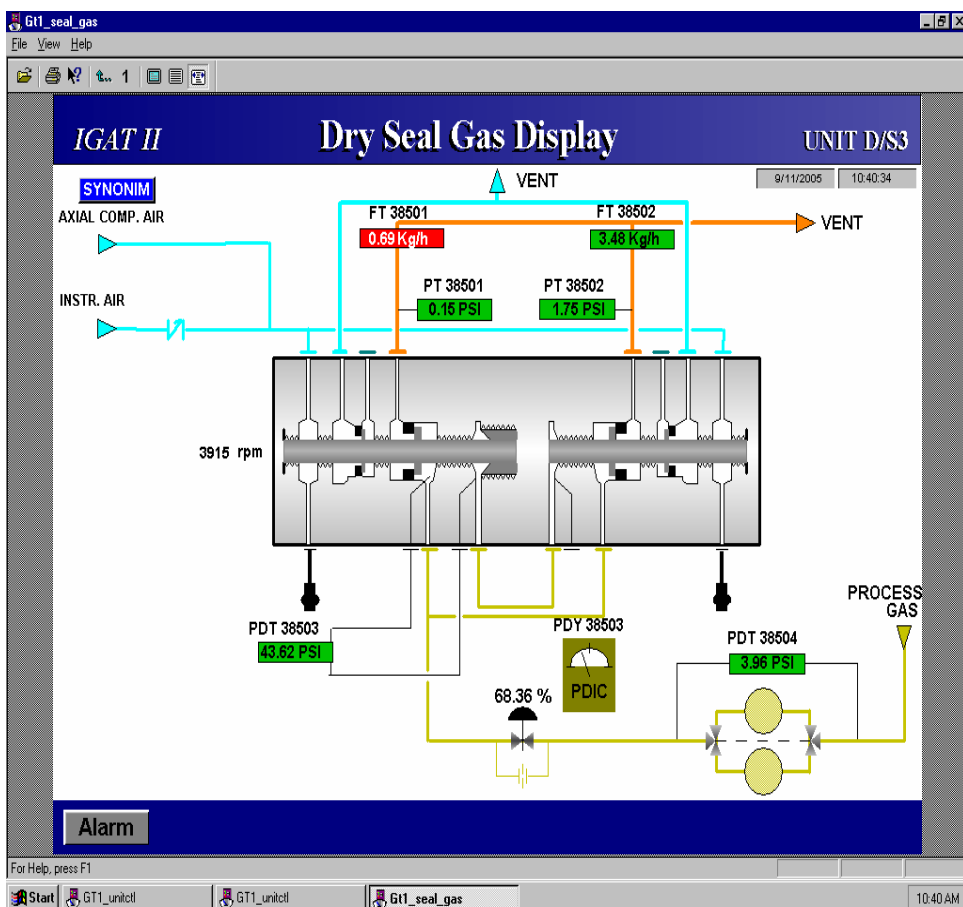
شکل ۵-۲۰: نحوه قرارگیری اجزاء آب‌بند گازی

لاین‌های آب‌بندی

برای اینکه بتوان جهت آب‌بندی در هر دو طرف روتور از رینگ‌های مشابه و هم‌جنس استفاده کرد و همچنین فشار یکسانی در دو طرف داشت، می‌بایست فشار دو طرف روتور را یکسان نمود بدین جهت گازی که در خروجی کمپرسور از بین سیل‌ها و محفظه بالانس درام عبور کرده توسط لاین ایجاد تعادل مجدداً به ورودی کمپرسور برگردانده می‌شود و به فشار مکش نزدیک می‌گردد. در صورتیکه

رینگ‌های آب‌بندی نتوانند کاملاً از نشت گاز جلوگیری نمایند، گاز پس از عبور از فیلترهای (دو فیلتر، یکی در سرویس و دیگری آماده) توسط دو لاین که به لاین‌های تخلیه اولیه معروفند به اتمسفر تخلیه می‌گردد. پس از آن، ممکن است مقدار دیگری از گاز نشت کرده و از رینگ‌های آب‌بندی بعد از لاین تخلیه اولیه نیز بگذرند. یک جریان هوا، که در خلاف جهت حرکت گاز، جریان دارد از نفوذ گاز به داخل جلوگیری کرده و در ضمن از تماس روغن روغنکاری با آب بندهای خشک جلوگیری می‌نماید و بدین ترتیب گاز از طریق دو لاین تخلیه دیگر که به آن لاین تخلیه ثانویه گویند، به بیرون هدایت می‌شود. مدار این سیستم آب‌بندی را می‌توان در شکل زیر مشاهده کرد.

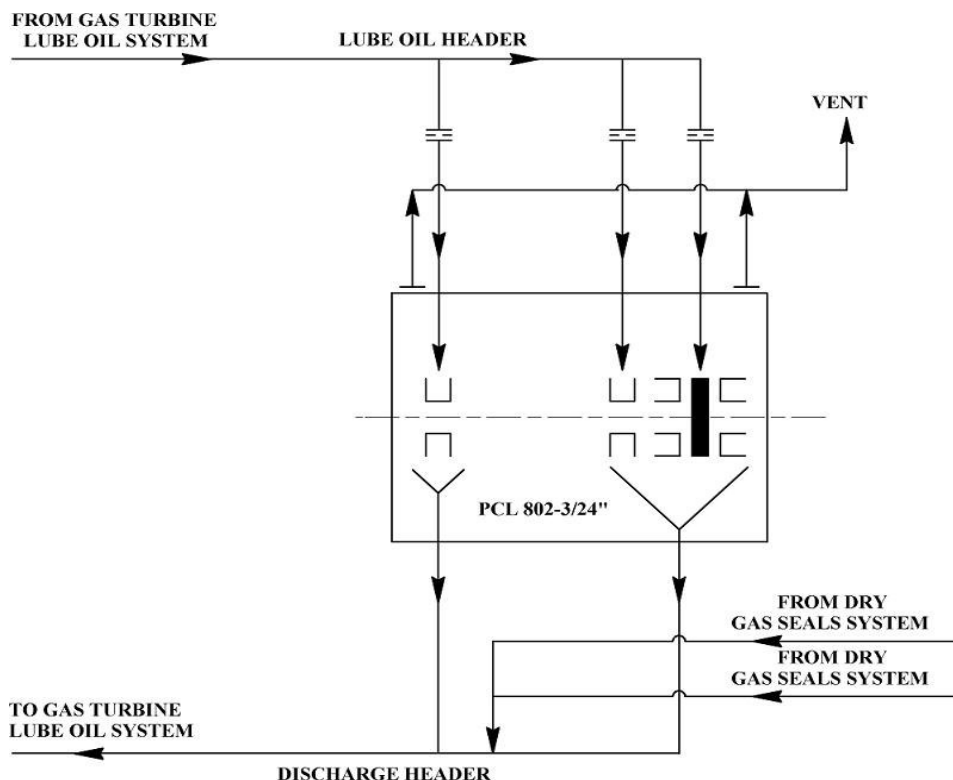
^{۹۰} Dry Gas Seal



شکل ۵-۲۱: شماتیک سیستم آب بند گازی

سیستم روغنکاری

روغن روغنکاری در کمپرسور گریز از مرکزی گاز توسط سیستم روغن توربین گازی تامین می‌شود. سیستم روغنکاری توربین گاز یک روغن خنک شده و فیلتر شده را در دما و فشار مورد نیاز برای روغنکاری نقاطی از کمپرسور تامین می‌کند. این نقاط در شکل زیر بطور شماتیک نمایش داده شده‌اند.



شکل ۵-۲۲: شماتیک نقاط روغنکاری در کمپرسور گاز (یاتاقان‌های ژورنال و کف‌گرد)

روغن فیلتر شده در دمای مورد نیاز به يك هدر^{۹۱} رسیده و برای روغنکاری یاتاقان‌ها پخش می‌شود.

خطوط روغن که برای روغنکاری یاتاقان‌های کف‌گرد و ژورنال تعبیه شده‌اند، دارای اریفیس‌های کالیبره می‌باشند که سطح فشار روغن را برای هر قسمت تنظیم می‌کنند. فشار روغن‌ها توسط اندازه‌گیرهایی که در محل نصب شده‌اند، نمایش داده می‌شود. روغن‌های خروجی در يك هدر جمع شده و به سمت مخزن جریان پیدا می‌کند. جریان منظم و صحیح روغن در روغنکاری یاتاقان‌ها نیز از طریق يك نمایشگر شیشه‌ای جریان چك می‌شود.

وظایف بهره‌بردار در قبال کمپرسور گاز عبارتند از:

- ✓ بازدید روزانه از محوطه کمپرسور گاز و حصول اطمینان از عملکرد صحیح آن
- ✓ کنترل مداوم دمای روغن یاتاقانها
- ✓ کنترل مداوم ارتعاشات یاتاقانها
- ✓ نظارت مناسب از مراحل مختلف آب بندی در کمپرسور
- ✓ کنترل اختلاف فشار دو طرف فیلتر گاز آب بندی و در صورت نیاز ، اقدام لازم جهت تعویض و در نهایت تمییز کردن فیلتر کثیف
- ✓ کنترل مداوم منحنی سرج کمپرسور گاز

پدیده سرج^{۹۲}

^{۹۱} Header

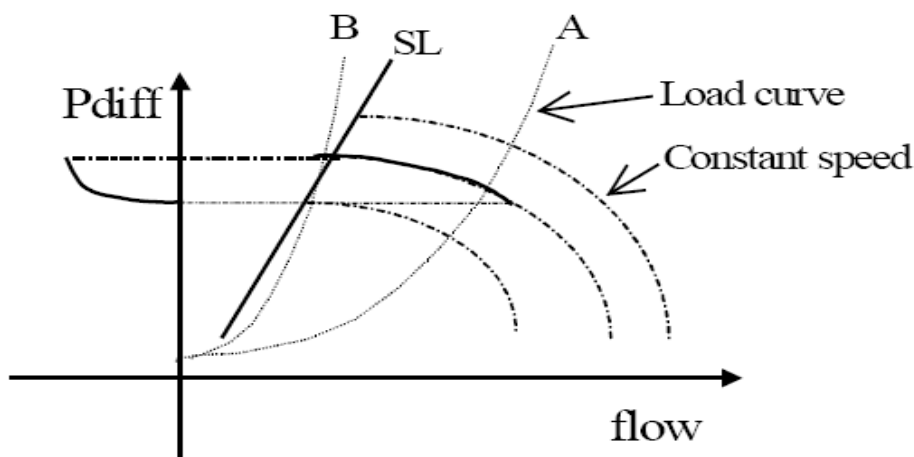
^{۹۲} Surge

می دانیم که جهت حرکت سیال از نقطه با فشار بیشتر به نقطه با فشار کمتر می باشد حال این سؤال پیش خواهد آمد که در این صورت چرا در کمپرسور جهت حرکت سیال عکس قانون فوق است ؟ یعنی با اینکه فشار خروجی کمپرسور بیش از فشار ورودی آن است ولی جهت جریان از قسمت با فشار پایین به سمت فشار بالا است . در توضیح مورد فوق ، باید گفت به قسمت فشار پایین سیال ، انرژی کمپرسور اضافه شده و مجموع انرژی ناشی از اعمال نیرو توسط کمپرسور بعلاوه انرژی خود سیال در ورودی کمپرسور، بیشتر از انرژی ناشی از اختلاف فشار بین خروجی و ورودی کمپرسور خواهد بود. حال سؤال بعدی این است که چرا ، چه زمان و چگونه سرچ اتفاق می افتد؟ سرچ کمپرسور زمانی اتفاق می افتد که اختلاف فشار دو طرف کمپرسور بالا رفته و در نتیجه انرژی اختلاف فشار ما بین ورودی و خروجی بیشتر از مجموع انرژی کمپرسور و انرژی خود سیال در ورودی باشد. در صورتیکه به چنین نقطه ای برسیم کمپرسور توان خارج کردن گاز را از خود نداشته و در نتیجه فلو در جهت عکس یعنی از سمت خروجی کمپرسور به ورودی جریان می یابد. اگر هیچ کاری انجام نگیرد اختلاف فشار دو طرف کمپرسور کاهش یافته و مجدداً فشار و جریان مثبت سریعاً ساخته می شود تا جایی که دوباره اختلاف فشار زیاد شده و مجدداً فلو منفی ساخته می شود. این چرخه در پربودهای چند ثانیه ای تکرار می گردد که نتیجه آن ایجاد ارتعاشات زیان آور برای کمپرسور می باشد. شکل زیر وضعیت سرچ در تغییر بار از حالت A به حالت B را نشان می دهد.

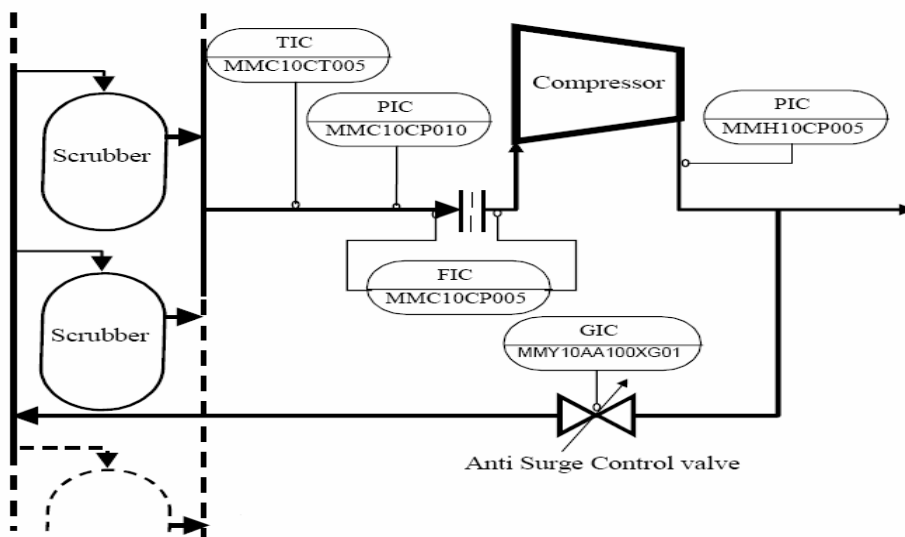
در گذر از خط سرچ⁹³ (SL) ایجاد جریان مثبت با توجه به فشار خروجی کمپرسور ممکن نبوده و لذا جریان به جریان منفی تبدیل می شود به عبارت دیگر جهت جریان عکس می شود. لذا کاهشی سریع در نسبت تراکم فشار ایجاد می گردد و چنانچه سرعت کمپرسور تغییر نکند مجدداً فشار گاز افزایش و جریان مثبت ایجاد می گردد و کمپرسور دچار ارتعاشات شدیدی می گردد شفت کمپرسور از یک طرف درجهت دوران محرک چرخیده و از طرف دیگر به علت افزایش نسبت تراکم از حد مجاز، تحت نیرویی برای چرخش در خلاف جهت محرک قرار دارد. ارتعاشات ایجاد شده ممکن است باعث ایجاد خسارات زیادی به ساختمان کمپرسور، سروصدای زیاد ، تلف شدن انرژی و کاهش بازده کمپرسور شود کنترل کننده آنتی سرچ به وسیله یک شیر برگشت گاز موسوم به شیر کنترل آنتی سرچ (ASCV)⁹⁴ عمل کنترل سرچ را انجام می دهد. با باز کردن این شیر، فلو از خروجی کمپرسور به ورودی آن بر می گردد لذا با کاهش اختلاف فشار دو طرف کمپرسور قادر به ایجاد جریان مثبت در کمپرسور خواهیم بود. با باز کردن شیر برگشت گاز کمپرسور را از سرچ حفظ می کنیم اما این کار باعث اتلاف انرژی می گردد لذا تا حد امکان از باز کردن این شیر باید پرهیز نمود.

⁹³ Surge Line

⁹⁴ Anti Surge Control valve



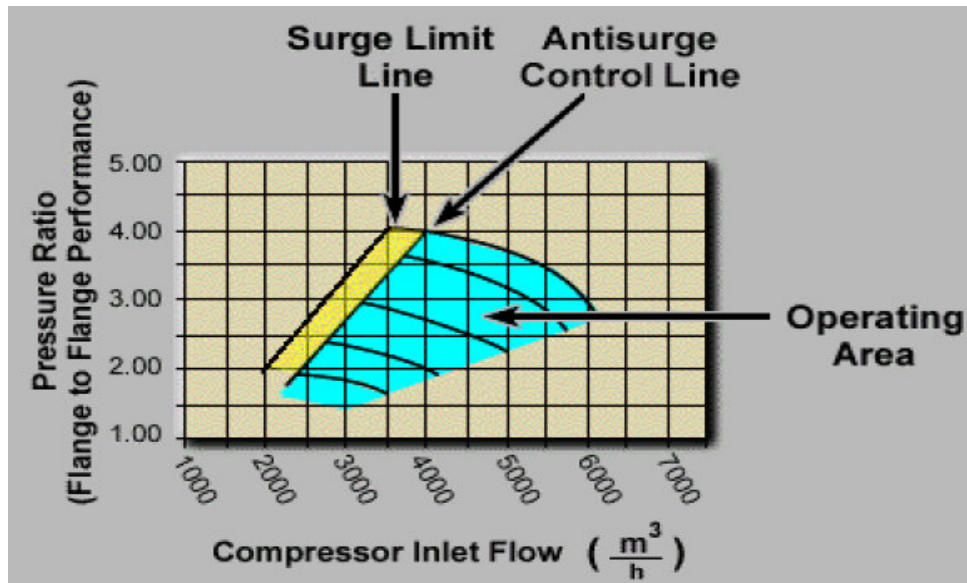
شکل ۲۳-۵ : نمودار کلی سرچ



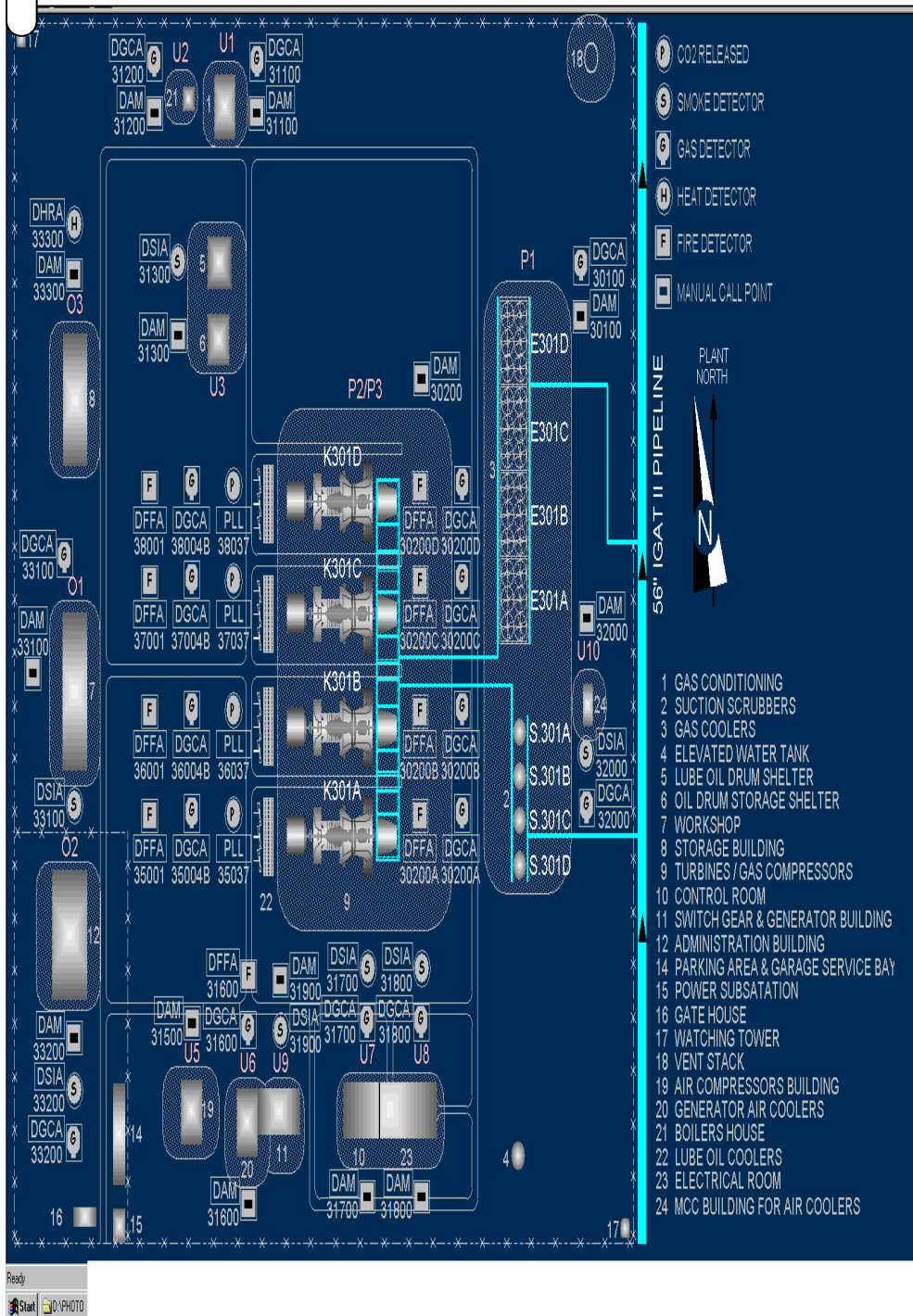
شکل ۲۴-۵ : موقعیت ولو برگشت گاز

برای هر کمپرسور از جمله کمپرسورهای سانتریفوژ یک منحنی مشخصه، به صورت تابعی از نسبت تراکم کمپرسور برحسب شدت جریان حجمی ورودی، برای سرعت های مختلف وجود دارد همانگونه که در شکل زیر مشاهده می شود، خط سرچ به عنوان پایین ترین محدوده عملیاتی مشخص می شود. اگر در شرایطی میزان جریان گاز ورودی به کمپرسور کمتر از میزان آن روی خط سرچ باشد، این پدیده اتفاق می افتد. مکان دقیق خط سرچ بر روی منحنی مشخصه معلوم نیست، بنابراین همانطور که در شکل مشاهده می شود خط کنترل سرچ به جای خط سرچ مشخص کننده این پدیده می باشد. در بعضی کمپرسورها، سرچ در ورودی به پروانه و جایی که جدایی جریان در هنگام ورود به تیغه های پروانه اتفاق می افتد رخ می دهد. در واحدهای دیگر، این اتفاق در دیفیوزر، خواهد افتاد. این پدیده به علت عدم توانایی دیفیوزر برای غلبه بر فشار خروجی کمپرسور اتفاق می افتد. احتمال وقوع این پدیده در جریان های حجمی کم و هدهای بالا بیشتر است. برای مشخص کردن پدیده سرچ تجهیزات خیلی پیچیده ای مورد نیاز نمی باشد. ارتعاشات ایجاد شده به علت این ناپایداری معمولاً به راحتی شنیده می شود و حتی با ایستادن در نزدیکی

کمپرسور احساس می‌شوند، به طور مشابه اگر شخصی در اتاق کنترل حضور داشته باشد، در شرایط سرج یک نوسان شدید در گیج‌های مربوط به فشار و نرخ جریان، در برد کنترل، مشاهده می‌کند.



شکل ۵-۲۰: نمونه‌ای از یک منحنی مشخصه، به صورت تابعی از نسبت تراکم کمپرسور (محور عمودی) بر حسب شدت جریان حجمی ورودی (محور افقی) برای سرعت‌های مختلف



فصل ۶

سیستم های حفاظتی
سیستم های گازیاب و آتشیاب
تشخیص دهنده گاز
عملکرد سیستم:
سیستم اطفاء حریق
عملکرد سیستم اطفاء حریق
سیستم فشارزدایی و تخلیه گاز

فصل ۶

سیستم های حفاظتی

سیستم های گازیاب و آتش یاب

سیستم گازیاب و آتش یاب (F & G) به منظور مشاهده آتش، گرما، دود و گاز اعلام خطر و منطقه آن و راه اندازی سیستم ضد آتش و توقف تجهیزات موجود در منطقه خطر بکار گرفته شده است. محدوده انفجار گاز بین ۵ تا ۱۵ درصد گاز می باشد و این یعنی در صورتیکه بین ۵ تا ۱۵ درصد یک حجم مشخصی گاز و مابقی هوا باشد و حرارت نیز به آن برسد با انفجار مواجه خواهیم شد لذا به مقدار ۵ درصد گاز، محدوده پایین انفجار (LEL)⁹⁵ و به مقدار ۱۵ درصد آن محدوده بالای انفجار (HEL)⁹⁶ گویند. سیستم (F & G) بر اساس فرمان سنسورهای ویژه تشخیص آتش و گاز در نواحی مختلف کار می کند. این سنسورها با حس وجود شعله و یا گاز، آلارمی به اتاق کنترل ارسال کرده، بهره بردار را از محل بروز آتش و یا گاز، از طریق SCS و یک صفحه شماتیک که شامل آلارم های شعله، دود و گاز در هر منطقه است، مطلع می نماید. این سیستم بر اساس سیگنال ورودی و در صورت نیاز، توقف اضطراری یک ناحیه یا کل ایستگاه را فرمان می دهد. تشخیص دهنده های گاز میزان غلظت گاز موجود در هوا را می سنجند. سنسورهای گازیابی که در محوطه ایستگاه قرار دارند در 20% حد پایین انفجار یک آلارم به اتاق کنترل ارسال کرده و هنگامی که دو عدد از سنسور های آن 60% حد پایین انفجار را گزارش کنند، سیستم بصورت اتوماتیک فرمان توقف می دهد. این میزان در مورد سنسورهایی که در داخل اتاقک توربین واقع شده اند اندکی کمتر است. بطوریکه اگر میزان گاز به 10% LEL برسد توسط واحد مرکزی سیستم، آلارمی ایجاد می شود و در صورتی که میزان گاز به 25% LEL برسد باعث توقف توربین می گردد (در صدهای عنوان شده در طراحی های مختلف می توانند اندکی متفاوت باشند)

تشخیص دهنده گاز: تشخیص دهنده های گاز مخصوص داخل توربین در مکانهای زیر قرار دارند:

- در ورودی کانالهای تهویه اتاق ژنراتور گاز و اتاق تجهیزات کمکی
- در خروجی کانال تهویه اتاق ژنراتور گاز
- در کف اتاق ژنراتور گاز
- در محفظه تصفیه کننده هوای ورودی به توربین گاز

⁹⁵ Low explosion limit

⁹⁶ High explosion limit

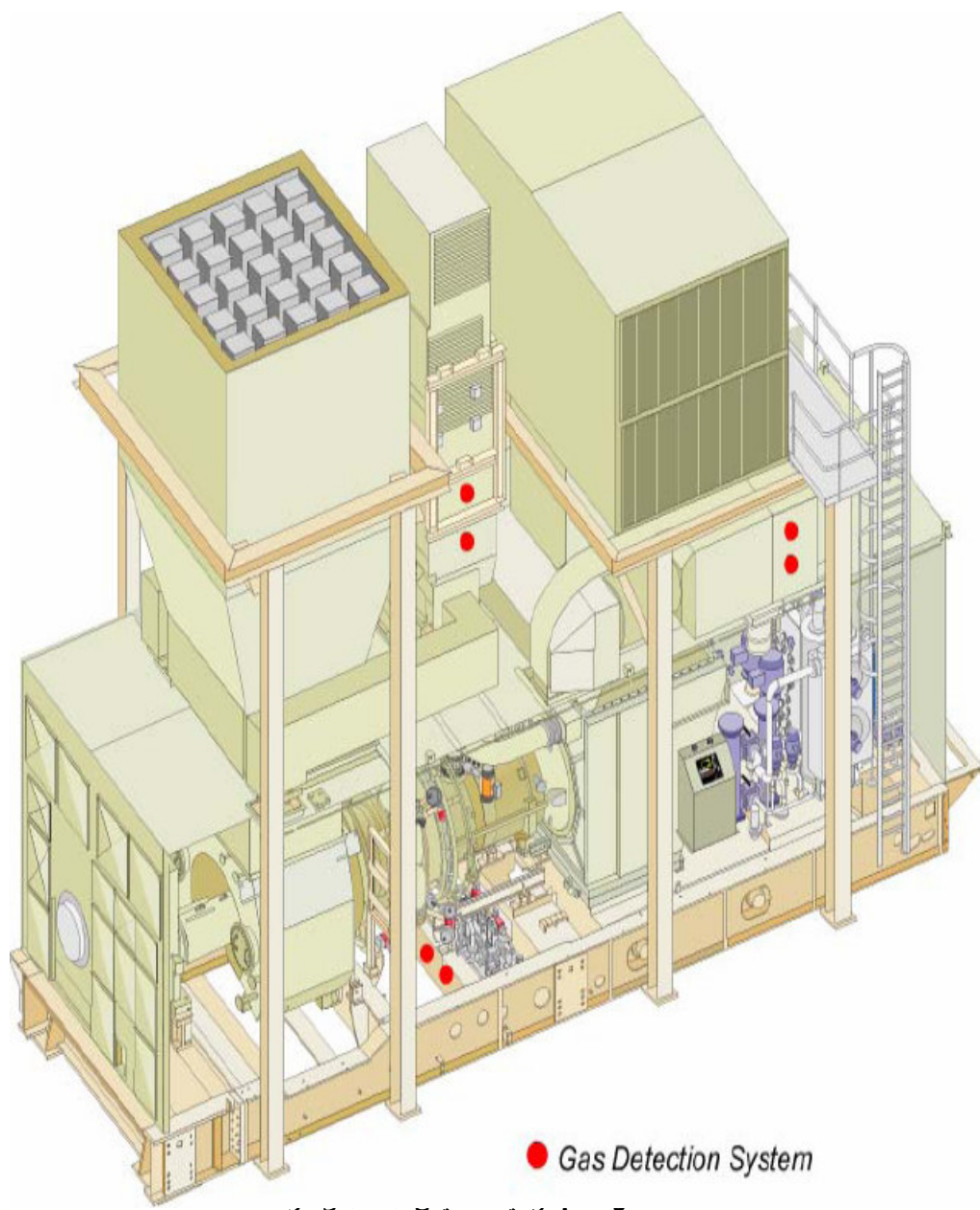
واحد مرکزی سیستم، دارای سونوچهای خاموش و روشن و دیودهای ساطع کننده نور برای مشخص کردن ناحیه آلام و همچنین تعیین خرابی ها می باشد. واحد مرکزی در اتاق کنترل قرار دارد. شکل زیر موقعیت تشخیص دهنده های گاز را نشان می دهد:

عملکرد سیستم:

این سیستم به صورت کاملاً اتوماتیک عمل می نماید و تا زمانی که از طریق واحد مرکزی متوقف نگردد به طور اتوماتیک وضعیت نشستی گاز را زیر نظر دارد. در هنگام توقف واحد، سیستم می تواند به کارکرد عادی خود ادامه دهد یا متوقف گردد. تشخیص دهنده های گاز را می توان بعد از توقف توربین گاز، کالیره نمود.

مشخصات فنی:

➤ تشخیص دهنده های گاز دارای پوشش ضد انفجاری جهت استفاده در نواحی خطرناک می باشند.
در مواقع اضطراری واحد مرکزی سیستم گازیاب، از پشتیبانی سیستم برق 24VDC باتریها برخوردار است



سیستم اطفاء حریق

این سیستم به منظور تشخیص اتوماتیک آتش در اتاق توربین گاز و اطفاء آن طراحی گردیده است تا از طریق آن میزان آسیب به توربین گاز محدود گردد. این سیستم وظایف زیر را دنبال می کند:

- تشخیص اتوماتیک آتش داخل توربین گاز

- خاموش کردن آتش به هنگام ارسال سیگنال توسط سیستم تشخیص دهنده آتش
- خاموش کردن آتش هنگامی که سیستم به صورت دستی فعال گردد.

توصیف کلی سیستم:

این سیستم، کاهش اکسیژن هوا از 21% به 15% را تشخیص داده و بر مبنای آن عمل می کند یعنی در هنگام بروز آتشسوزی و رؤیت آن توسط سنسور، سیستم حفاظتی CO₂ جهت خاموش کردن آتش سوزی درون بخشهای توربین به مدت زمان لازم (معمولاً یک دقیقه) CO₂ تخلیه می نماید. تجهیزات این سیستم شامل: سیلندرهای حاوی CO₂، نازل ها و لوله های خروجی، سولنئیدها، سوئیچ های فشاری و آتش یاب ها می باشد. این سیستم هم بصورت اتوماتیک و هم بصورت دستی، قابل فرمان می باشد عمل کردن این سیستم در هر دو حالت فوق باعث توقف اضطراری واحدها می گردد.

✓ هنگام تخلیه گاز دی اکسید کربن، باید به سرعت از محل دور شد چرا که نتیجه استنشاق این گاز بیرنگ و بی بو به احتمال زیاد **مرگ** است.

هنگامی که سیستم تشخیص دهنده، بروز آتش را تشخیص می دهد، سیگنالی از واحد مرکزی جهت سیستم اطفاء حریق ارسال می شود. زمانی که فعال کننده الکتریکی روی شیر سیلندر راهنما⁹⁷ این سیگنال را دریافت نمود شیر باز شده و باعث رها شدن CO₂ سیلندر راهنما می گردد. فشار سیلندر راهنما واحد کنترل تاخیر زمانی CO₂ را فعال می کند. این واحد آزاد شدن CO₂ سیلندرهای اصلی را چند ثانیه (بسته به طراحی) به تاخیر می اندازد. این سیستم جهت مهار آتش از دو خروجی مجزا در توربین استفاده می کند که یکی مربوط به پاشش اولیه و دیگری مربوط به پاشش بصورت ممتد می باشد. ابتدا، CO₂ از خروجی مربوط به پاشش اولیه به سرعت وارد محفظه توربین شده و اقدام به خاموشی آتش می کند ولی ممکن است در اثر نشتی، درصد اکسیژن از 15% بیشتر شده و درصد CO₂ کاهش یابد در اینجا پاشش ممتد وظیفه جلوگیری از روشن شدن مجدد آتش را بر عهده می گیرد.

عملکرد سیستم:

این سیستم کاملاً اتوماتیک عمل کرده و همیشه در سرویس است بجز مواقعی که به منظور تامین ایمنی پرسنل از سرویس خارج گردد. در حالتی که یک تشخیص دهنده حرارت یا یک تشخیص دهنده شعله فعال می گردد موارد زیر رخ می دهد:

- مشخص گردیدن آتش توسط سیستم کنترل و نظارت
- چراغ های قرمز بیرون منطقه محافظت شده، شروع به چشمک زدن خواهند کرد.
- آخطار آتش روی واحد مرکزی سیستم اطفاء حریق مشخص خواهد گردید.

در حالتی که یکی از دکمه های آزاد سازی CO₂ از محل مربوطه فعال گردد یا دو تشخیص دهنده گرما فعال شود و یا دو تشخیص دهنده شعله یا یک تشخیص دهنده شعله و یک تشخیص دهنده گرما همزمان فعال گردیده باشند علاوه بر ایجاد آخطار آتش موارد زیر انجام می گیرد:

۱. آلامر آتش روی واحد مرکزی سیستم مشخص می گردد.
۲. آلامر آتش از واحد مرکزی به سیستم کنترل توربین گاز ارسال می شود.
۳. آلامر آتش از واحد مرکزی برای رله های توقف ارسال می گردد.

⁹⁷Pilot cylinder valve

۴. تمامی دمپرهای سیستم تهویه از طریق واحد مرکزی بسته می گردند.
 ۵. فرمان آزاد سازی CO2 ارسال می گردد که با توجه به مراحل زیر CO2 آزاد می گردد:
 ۶. فعال کننده الکتریکی با دریافت سیگنال، شیر سیلندر راهنما را باز می کند.
 ۷. آژیر پنوماتیکی و الکتریکی درون اتاق محافظت شده شنیده می شود.
 ۸. واحد تاخیر زمان خالی شدن CO2 سیلندرهای اصلی فعال می گردد.
 ۹. پس از چند ثانیه (بسته به طراح سیستم) ، شیرهای سیلندرهای CO2 باز می گردند.
 ۱۰. از طریق نازلها CO2 به داخل اتاقهای محافظت شده تخلیه می گردد.
- این سیستم باید قبل از مرحله راه اندازی توربین گاز در سرویس قرار گیرد. توقف توربین گاز تاثیری روی سیستم ندارد.

اجزاء سیستم:

واحد مرکزی سیستم اطفاء حریق:

این واحد در اتاق کنترل قرار دارد و وظیفه کنترل مراحل آزاد سازی CO2 را بر عهده دارد. این سیستم همچنین اطلاعات قابل قبولی از وضعیت سیستم خاموش کننده آتش فراهم کرده و آن را به سیستم کنترل توربین ارسال می دارد. برخی از این اطلاعات عبارتند از:

- ◀ هشدار آتش
- ◀ توقف واحد در نتیجه بروز آتش
- ◀ آزاد سازی CO2
- ◀ قفل شدن سیستم اطفاء حریق
- ◀ خرابی تجهیزات مربوط به سیستم اطفاء آتش
- ◀ بستن دمپر های اتاق ژنراتور گاز در موقع فعال شدن سیستم

تشخیص دهنده های حرارت:

چهار تشخیص دهنده حرارت در اتاق توربین گاز وجود دارد که با واحد مرکزی سیستم در ارتباط می باشند. هنگامی که دمای اتاق به حد از پیش تنظیم شده رسید، تشخیص دهنده آتش فعال گردیده و هشدار آتش صادر می کند. چنانچه دو تشخیص دهنده حرارت یا یک تشخیص دهنده حرارت به همراه یک تشخیص دهنده شعله فعال گردد، باعث رها شدن CO2 به داخل اتاقهای محافظت شده می گردد. در صورت خرابی سیستم تهویه این تشخیص دهنده ها فقط باعث ایجاد آلام آتش می شوند.

تشخیص دهنده های شعله:

معمولاً چهار تشخیص دهنده شعله در اتاق توربین گاز قرار دارد که با واحد مرکزی سیستم در ارتباط می باشند. این تشخیص دهنده ها اشعه مادون قرمز شعله را حس می کنند. هنگامی که یک تشخیص دهنده شعله فعال می گردد هشدار آتش ایجاد می شود. چنانچه دو تشخیص شعله یا یک تشخیص دهنده شعله به همراه یک تشخیص دهنده حرارت فعال گردند آلام آتش ارسال شده و CO2 در داخل اتاقهای محافظت شده پخش می گردد.

سیلندر های دی اکسید کربن:

این سیلندرها در بیرون اتاق توربین گاز قرار گرفته اند.. اگر در هر سیلندر سطح CO2 به کمتر از 90% برسد موضوع با ارسال آلارمی مشخص می گردد. معمولاً در قسمت بیرونی اتاق توربین گازها و در دو طرف واحد، دو چراغ به رنگهای سبز و قرمز وجود دارد.

✓ چراغ سبز هنگامی که سیستم اطفاء حریق قفل می شود روشن می گردد.

✓ چراغ قرمز در زمان آزاد شدن CO2 روشن می گردد.

یک آژیر الکتریکی در داخل اتاق محافظت شده وجود دارد که هنگام ایجاد آلارم آتش فعال می گردد. علاوه بر آن یک آژیر مکانیکی نیز در اتاق وجود دارد که در زمان فعال شدن واحد تاخیر زمان تخلیه CO2 این آژیر با صدایی متفاوت از آژیر الکتریکی فعال می گردد. لازم به توضیح است به دلیل حفظ ایمنی افراد، واحد تاخیر زمان، باز شدن ولوهای سیلندرهای CO2 را چند ثانیه (معمولاً ۳۰ ثانیه) به تاخیر می اندازد.

مشخصات فنی:

✓ کلیه تجهیزات الکتریکی سیستم اطفاء حریق، درون اتاق ژنراتور گاز، به منظور استفاده در ناحیه خطرناک دارای پوشش ضد انفجاری می باشند.

✓ این سیستم دارای یک منبع تغذیه پشتیبان است تا سیستم حداقل برای 24 ساعت به هنگام از دست رفتن منبع تغذیه اصلی، در سرویس باقی بماند.

✓ واحد مرکزی از پشتیبانی سیستم برق 24VDC باتریها برخوردار است.

✓ تشخیص دهنده ها، نازل های CO2 و آژیرهای الکتریکی و مکانیکی درون اتاق ژنراتور گاز قرار دارند و بقیه تجهیزات سیستم خارج اتاق حفاظت شده قرار دارند.

محدوده انفجار یا آتش برای مخلوط گاز با هوا 5-15 % می باشد در مقدار کمتر یا بیشتر از این عمل، انفجار، غیر ممکن است حد پایین این محدوده 5 % است و ما در هنگام نشت گاز نباید اجازه دهیم مخلوط گاز با هوا به 5 % برسد برای این منظور دستگاهی جهت اندازه گیری مقدار گاز درون محیط و دستگاهی جهت کالیبریت کردن این سنسورها وجود دارد که دستگاه اول در اختیار بهره بردار و دستگاه دوم در اختیار ابزار دقیق می باشد. جهت کالیبریت کردن دستگاه گاز سنج، مخلوطی از 1 % گاز و 99 % هوا را به سنسور می دهند و آن را روی 20 % تنظیم می کنند دوباره مخلوطی از 2 % گاز و 98 % هوا را به سنسور داده و آن را روی LEL 40 % تنظیم می کنند به همین ترتیب در مرحله پنجم 5 % گاز و 95 % هوا را به سنسور داده و آن را روی 100 % LEL تنظیم می کنند در اینجا سنسور کالیبریت شده است یعنی LEL 60 % معرف 3 % گاز و 97 % هواست.

سیستم فشارزدایی و تخلیه گاز

سیستم فشارزدایی و تخلیه گاز در ایستگاه، به منظور کاهش مقدار گاز موجود در نواحی از ایستگاه می باشد که دچار آتش سوزی، انفجار و یا هر حالت خطرناک دیگری شده باشند. در واقع هدف از ایجاد این سیستم کاهش فشار سیستم های در حال آتش سوزی، و

در نتیجه مینیم کردن احتمال شکست و انفجار در این نواحی می‌باشد. این سیستم همچنین مانع از رسیدن سوخت به نواحی فوق می‌شود. سیستم تخلیه شامل قسمت‌های زیر می‌باشد:

- ◀ شیرهای تخلیه
 - ◀ اریفیس‌های محدود کننده^{۹۸}
 - ◀ شیر اطمینان‌های خطوط ورودی و خروجی
 - ◀ هدرهای جمع‌آوری کننده خروجی شیرهای اطمینان
 - ◀ هدر اصلی
 - ◀ دودکش^{۹۹}
- گازهای رها شده در طی فشارزدایی، از طریق هدرها به دودکش هدایت شده و تخلیه می‌شوند. تخلیه گاز باید در محل امنی صورت گیرد، به همین منظور در انتخاب این محل بایستی شرایط محیطی اطراف، توسعه‌های آینده ایستگاه و چگونگی وزش باد بررسی و منظور شوند. سیستم فشارزدایی و تخلیه ایستگاه طوری طراحی شده که توسط آن می‌توان نیازهای زیر را برآورده ساخت:
- ◀ در حالت فشارزدایی کل ایستگاه، فشار تمام مخازن و لوله‌ها بایستی ظرف مدت ۱۵ دقیقه از حالت اولیه به زیر ۱۰۰ Psig رسانده شود.
 - ◀ اندازه هدر و دودکش تخلیه به گونه‌ای باشد که توانایی تخلیه گاز از تمام شیرهای تخلیه وجود داشته باشد.
 - ◀ هر کمپرسور را بتوان بطور مجزا فشارزدایی کرد.
 - ◀ مرکز تقلیل فشار را بتوان بطور مجزا فشارزدایی کرد.
 - ◀ واحد پروسه گاز شامل؛ ورودی ایستگاه، اسکرابرها، کولرهای گاز و خط خروجی ایستگاه را بتوان بصورت مجزا فشارزدایی کرد.
- شرایط طراحی فشار و سرعت گاز در این سیستم تخلیه بصورت زیر منظور شده است:
- ◀ ماکزیمم فشار برگشتی مجاز در شبکه ۱۱۶ Psig است.
 - ◀ ماکزیمم سرعت گاز در شبکه ۰,۷ ماخ (۲۳۲m/s) می‌باشد.
- دلایلی که باعث نیاز به فشارزدایی در ایستگاه می‌شوند عبارتند از:
- ◀ قطع برق کل یا قسمتی از ایستگاه
 - ◀ اشکال در خنک‌سازی و دمایی بیش از حد گاز
 - ◀ آتش‌سوزی
 - ◀ مسدود شدن خروجی
 - ◀ اشکال در سیستم هوای ابزار دقیق
 - ◀ اشکال در سیستم گاز عملگر
 - ◀ نشستی و رسوخ سیال پروسه از نواحی پرفشار به قسمت‌های کم فشار سیستم

⁹⁸ Restriction Orifice

⁹⁹ Vent Stack

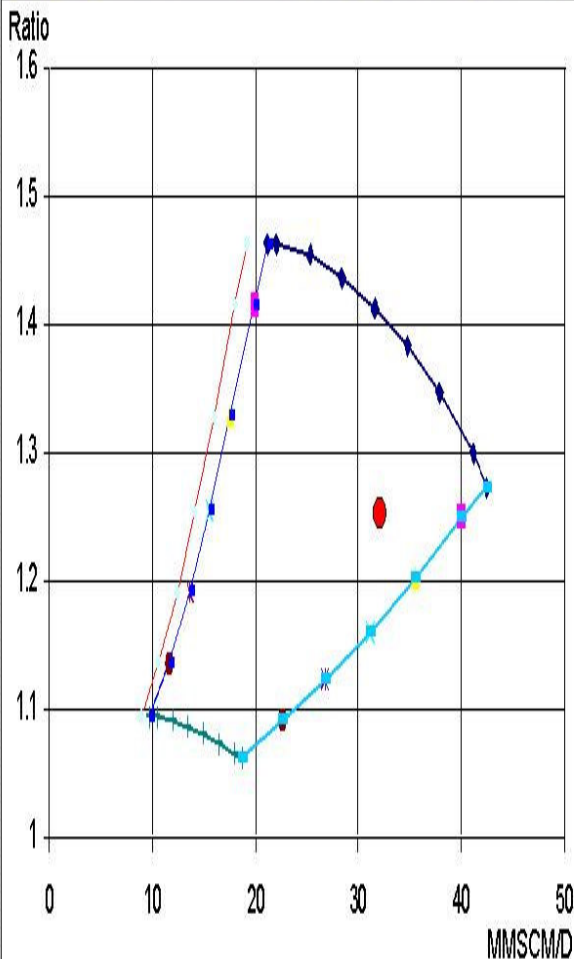
IGAT II

Performance Curve

UNIT D/S3

9/11/2005

10:59:11



A/S Open Rqst

0

%

A/S Measure

4263.3
mmH2O

A/S Setpoint

1188.3
mmH2O

Speed

4905
4670
4203
3736
3269
2802
2335

Valve Control

AUTO

MANUAL

OPEN FINE

CLOSE FINE

OPEN FULLY

STOP

CLOSE FULLY

(PT31005A) SUCTION PRESS: 644.67 psi

(FT31001) SUCTION ORIFICE: 3590.2 mmH2O

(PT31005B) DISCHARGE PRES: 813.01 psi

LP SPEED 83.84 %
3916 RPM

Curve Reference Conditions

Gas Handled: Hydrocarbons
Molecular Weight: 17.889
Intake Pressure: 771.6 psia
Intake Temperature: 34.5 °C
Compress.@Suction 0.909
Ratio of Spec.Heat 1.317

Miscellaneous Values

Load sharing action: 0 %
Nominal Suct.Press.: 771.39 psia

Sucti. Flow 32.1 MMSCMD
Disch. Flow 23.7 MMSCMD

Control Status

AUTOMATIC

For Help, press F1



GT1_unitctl



GT1_Performance

10:59 AM

فصل ۷

کنترل و بهره برداری

کنترل توربوکمپرسورها

راه اندازی و توقف توربین

تدابیر عمومی ایمنی در ایستگاه‌های تقویت فشار

نکات ایمنی در کار با توربوکمپرسورها

تحلیل خط انتقال

واحد کنترل مرکزی DISPATCHING

بهره‌برداری

کنترل و بهره برداری

بهره بردار با توجه به ارتباط سیستم SCS و UCP (پائل کنترل واحد) می تواند ، اطلاعات رسیده از سیستم ها و سنسورها در نقاط مختلف ایستگاه را از طریق مونیتورهای مربوطه مشاهده و در نتیجه کارکرد واحدها و پروسه کامل ایستگاه را کنترل نماید. پائل کنترل واحد (UCP) ، حفاظت ، نمایش و کنترل پارامترهای زیر را بر عهده دارد:

- ◀ شعله در توربین و سیستم گازیاب
- ◀ سیستم سوخت رسانی توربین گاز
- ◀ دمای اگزوز توربین
- ◀ سرعت های توربین و کمپرسور
- ◀ ارتعاشات در توربین و کمپرسور
- ◀ فلو کمپرسور
- ◀ فشارهای ورودی و خروجی کمپرسور
- ◀ دمای خروجی کمپرسور
- ◀ کارکرد کمپرسور در شرایط ایمن و جلوگیری از سرچ آن
- ◀ سیستم روغن و روغنکاری

کنترل توربوکمپرسورها

کنترل واحدها اعم از کارکرد مرحله به مرحله اجزای مختلف توربین شامل روغنکاری ، تهویه ، راه اندازی ، آب بندی و ... و همچنین کنترل پروسه ایستگاه ، شامل کنترل نقطه سرچ و در نتیجه باز یا بسته بودن آنتی سرچ ولو ، تشخیص باز یا بسته ماندن شیرهای ورودی و خروجی و ... به عهده PLC ها یا همان کنترل کننده های منطقی قابل برنامه ریزی است. کنترل توربو کمپرسورها در زمانیکه کنترل ایستگاه روی حالت اتوماتیک باشد از دو طریق امکان پذیر است :

(۱) از طریق فشارهای ورودی و خروجی ایستگاه

(۲) از طریق مقدار فلو ایستگاه

که هر دو عامل فوق نیز در مونیتور SCS آمده است. و این یعنی SCS بر اساس اطلاعات رسیده در مورد فلو و یا فشارهای ورودی و خروجی به استارت و یا توقف يك واحد ، بسته به اینکه تعداد واحدهای در حال کار قادر به برآورد بار مورد نیاز نباشند و یا بالعکس با تعداد واحد کمتری بتوان شرایط و بار مورد نیاز را تحمل نحالت ، اقدام می کند. جهت راه اندازی واحد ، پس از اقدامات اولیه ، می توانیم حالت های زیر را انتخاب کنیم : (البته این حالت ها در توربوکمپرسورهای مختلف و البته با توجه به نرم افزار نصب شده روی SCS و UCP ممکن است ، بیشتر و یا کمتر بوده و یا با نام های دیگری شناخته شوند)

Remote , Auto , Off , Manual , Fire , Crank

حالت Off : معمولاً در زمان تعمیرات واحد ، این حالت به منظور جلوگیری از صدور فرمان استارت ، فعال می شود.

حالت Crank : جهت آزمایش واحد پس از انجام تعمیرات از این حالت که یک استارت مجازی بدون ایجاد جرقه است شیرهای ورودی و خروجی واحد باز نمی شود.

حالت Fire: در این حالت بدون باز شدن ولوهای ورودی و خروجی واحد، یک استارت همراه با تشکیل شعله انجام می شود از این حالت نیز جهت آزمایش واحد پس از انجام تعمیرات بر روی محفظه احتراق یا فتوسل ها استفاده می گردد.

حالت Manual: در این حالت می توان بطور دستی فرمان استارت یا استاپ واحد از طریق پانل کنترل واحد نحالت. در این حالت، بهره بردار می تواند، کاهش یا افزایش دور و تنظیم فشار ورودی و خروجی واحدها، استارت و استاپ واحدهای دیگر را با نظر خود تنظیم و یا تغییر دهد و سیستم کنترل ایستگاه هیچگونه دخالتی در کنترل واحدها ندارد البته در صورتی که واحد به محدوده خط سرج برسد، شیر آنتی سرج بطور اتوماتیک باز می شود تا واحد را از این وضعیت خطرناک دور کند.

حالت Auto: در این حالت واحد بطور اتوماتیک راه اندازی شده و مرحله ای مانند فشار گیری، بستن شیر تخلیه و بستن شیر آنتی سرج نیز، توسط خود واحد انجام می شود. در این حالت با توجه به تنظیمات بهره بردار، هر توربین به صورت مجزا، اتوماتیک کار می کند و کاهش یا افزایش دور آن تابع میزان فلوی درخواستی تنظیم شده توسط بهره بردار می باشد.

حالت Remote: در این حالت سیستم کنترل ایستگاه با توجه به منحنی عملکرد و براساس اولویت بندی تنظیم شده توسط بهره بردار، راه اندازی یا توقف واحدها، را انجام می دهد.

در این حالت با توجه به مقادیر تعیین شده برای فشار ورودی، فشار خروجی و دبی، کنترل فشار، دور و دبی واحدها توسط سیستم کنترل ایستگاه صورت می گیرد. هیچگاه سیستم کنترل ایستگاه همزمان از هر سه پارامتر فرمان نمی گیرد، زیرا هرکدام از سه پارامتر یاد شده که فعال باشد، با علامتی در مقابل ستون مربوطه مشخص است.

راه اندازی و توقف توربین

برای راه اندازی توربین، اطمینان از رفع شرایط زیر ضروری است:

- ◀ فشار سوخت خیلی بالا
- ◀ دمای خیلی بالا در اتاقک توربین
- ◀ تخلیه CO₂ سیستم حفاظت در مقابل آتش
- ◀ وجود آتش در محوطه توربین
- ◀ فعال بودن مکانیزم جلوگیری از سرعت بالای توربین راه انداز(در صورت وجود توربین انبساطی)
- ◀ اختلاف فشار بالا در طرفین فیلترهای ورودی هوا
- ◀ فعال بودن توقف اضطراری همراه با تخلیه گاز یا بدون آن
- ◀ وجود گاز به مقدار خیلی بالا در اتاقک توربین
- ◀ صفر نبودن سرعت شافت توربین HP
- ◀ دمای انکروز بالا
- ◀ ارتعاشات خیلی بالا در توربین
- ◀ دمای روغن روغنکاری خیلی بالا
- ◀ وجود جابجایی محوری در توربین
- ◀ مشکل در سیستم حفاظت هیدرولیک
- ◀ دمای خیلی بالا در فضای بین پره های توربین
- ◀ مشکل در نازل های راهنما
- ◀ وجود گاز در اتاقک فیلترها
- ◀ وضعیت غیر صحیح شیرها
- ◀ مشکل در سیستم تشخیص شعله

- ◀ فعال بودن سیگنال سرعت غیر مجاز در توربین های HP و LP
- ◀ ارتعاشات محوری و شعاعی خیلی زیاد در کمپرسور
- ◀ باز بودن درب های اتاقک فیلترها
- ◀ اشکال در سیستم ضد حریق
- ◀ اشکال در ترموکوپل های اگزوز
- ◀ اشکال در سیستم گاز یاب

در ضمن تحقق شرایط زیر نیز باید چک شود:

- ◀ پایین نبودن ولتاژ باتری ها
- ◀ دمای نرمال در هدر روغنکاری
- ◀ عدم وجود گاز در اتاقک جانبی توربین
- ◀ باز بودن دمپرهای موجود در مسیر تهویه
- ◀ بسته بودن درب اتاقک فیلترها، اتاقک جانبی و توربین
- ◀ ولتاژ نرمال در پمپ اضطراری روغنکاری (در صورت وجود)
- ◀ عادی بودن ارتعاشات سیستم
- ◀ سطح روغن تانک نرمال باشد
- ◀ سیستم آتش یاب و گاز یاب در سرویس باشد
- ◀ عدم وجود مشکل در موقعیت تیغه های راهنمای ورودی
- ◀ عدم وجود مشکل در سیستم پالس جت
- ◀ موقعیت صحیح شیرها

عادی بودن تمامی فاکتورهای فوق ، به این معنی است که توربین READY داشته ، آماده استارت می باشد.

با فشردن دکمه استارت و پس از فشار دار شدن واحد، آنتی سرج ولو بسته شده و سیستم روغنکاری ، فن تهویه اتاقک توربین ، فن جدا کننده بخارات روغن و فن های خنک کننده روغن استارت می شوند.

اگر واحد خالی از گاز باشد، شیر آنتی سرج به حالت بسته باقی مانده و شیر بای پاس شیر ورودی باز میشود. در این هنگام و در حالیکه شیر تخلیه گاز کاملاً باز است هواگیری کمپرسور تا فشار ۲۰۰ پوند بر اینچ مربع انجام میگردد. پس از هواگیری خطوط آنتی سرج، شیر تخلیه گاز بسته شده ، فشار گاز در واحد افزایش می یابد. زمانیکه اختلاف فشار دو طرف شیر ورودی واحد کم شود شیر ورودی باز شده و بای پاس می بندد.

بعد از گازدار شدن واحد، سیستم راه انداز اولیه استارت شده و شفت HP شروع به چرخش می کند. سپس شیرهای مربوط به سوخت باز شده و جرقه زده شده شعله ایجاد می شود. پس از آن شفت LP شروع به چرخش میکند و سیستم راه انداز متوقف می گردد. هنگامی که دور LP به مقدار مناسب رسید ، شیر خروجی واحد باز میشود ، در این زمان می بایستی شیر آنتی سرج بسته و دور واحد افزایش یابد تا اصطلاحاً واحد به خطر زده شود.

توقف توربین

توقف عادی: هنگام توقف عادی واحد، سیستم کنترل ابتدا فلو خروجی را تا مقدار حداقل کاهش می دهد سپس شیرهای کنترل سوخت در وضعیت حداقل خود قرار می گیرند.

توقف اضطراری: در هنگام توقف اضطراری، سیستم کنترل سریعاً شیرهای کنترل سوخت را می بندد. بعد از توقف اضطراری سیستم کنترل توربین در سرویس نمی باشد.

در این مرحله سیستم، تقاضای بسته شدن و توقف تجهیزات سوخت را می دهد برای توقف عادی از فرمان STOP در UCP و یا در حالت Remote در SCS استفاده می شود. با انجام این کار سرعت شافت HP بر اساس تابع خطی شروع به کاهش کرده

و شیر آنتی سرج باز میشود. هنگامی که سرعت LP به کمتر از دور بحرانی رسید ، شیرهای ورودی و خروجی واحد بسته می شوند. و پس از اینکه سرعت HP به کمتر از دور بحرانی رسید، سیستم روغنکاری ، خودش را با شرایط جدید وفق می دهد. در شرایط cool down بسته به نوع طراحی ، شفت باید چرخانده شود که در برخی از انواع طراحیها سیستم راه انداز ، این وظیفه را بعهدہ داشته و در برخی دیگر پمپ دیگری ، جداگانه اجرای فرایند فوق را بعهدہ دارد.

توقف اضطراری بدون تخلیه گاز

این نوع توقف در شرایط زیر اتفاق می افتد:

- ◀ دمای خیلی بالا در فضای بین توربین ها
 - ◀ دمای خیلی بالا در اتاقک توربین
 - ◀ ناهماهنگی در ترموکوپلهای ورودی کمپرسور محوری
 - ◀ دمای خیلی بالای روغن روغنکاری
 - ◀ اختلاف فشار خیلی زیاد در طرفین فیلترهای ورودی
 - ◀ ارتعاشات خیلی زیاد توربین
 - ◀ اشکال در ترموکوپلهای آگروز
 - ◀ دمای زیاد در آگروز
 - ◀ جابجایی محوری توربین
 - ◀ وضعیت غیر صحیح شیرها
 - ◀ قطع شدن شعله
 - ◀ افزایش بیش از حد سرعت در شافت های HP و LP
 - ◀ ارتعاشات شعاعی و جابجایی محوری خیلی زیاد در کمپرسور گاز
 - ◀ باز شدن دربهای اتاقک فیلتر
 - ◀ پایین بودن ولتاژ به مدت معلوم تعیین شده
 - ◀ اشکال در سیستم مشاهده گاز
- در صورت تحقق هر کدام از شرایط فوق ، سوخت قطع شده ، شیر آنتی سرج باز می شود.

توقف اضطراری همراه با تخلیه گاز

که در صورت بروز موارد زیر اتفاق خواهد افتاد :

- ◀ فشردن push button مربوطه
- ◀ تخلیه CO₂ سیستم ضد حریق
- ◀ مشاهده گاز در اتاقک فیلتر
- ◀ گاز بسیار زیاد در اتاقک توربین

سیستم توقف اضطراری

سیستم توقف اضطراری (ESD)، در حقیقت جهت محافظت از پرسنل ، تجهیزات و محیط از فرایندهای نا خواسته و یا آزاد شدن غیر قابل کنترل هیدروکربنها و یا شرایط دیگر است. یک شرایط shut down ایمن به این معنی است که ورودی و خروجی به واحد بسته شده ، لوله و تجهیزاتی که در صورت خراب شدن احتمالی ، مقدار زیادی هیدروکربن آزاد می کنند ، ایزوله می شوند و سیستم هایی که پتانسیل احتراق دارند shut down می شوند. سیستم ESD به سه سطح **ESD1** ، **ESD2** و **ESD3** تقسیم بندی می گردد. این طراحی بگونه ای است که توقف اضطراری در یک سطح ، سطوح بالاتر را فعال نمی کند اما موجب عمل کردن سطوح پایین تر خواهد شد. در خلال یک shut down سیستم ها و قسمت های مختلف توسط ESDV ها از هم

ایزوله می شوند. هر قسمتی که از هم جدا شده دارای یک شیر تخلیه گاز است که می توان آنها را با دکمه مربوطه در اتاق کنترل نیز باز نحالت که البته در آن صورت ESDV های آن قسمت نیز باز می شوند.

ESD1

که در صورت بروز عوامل زیر اتفاق می افتد:

- ❖ فشار خیلی خیلی پایین در شبکه هوای ابزار دقیق
- ❖ مشاهده آتش و یا گاز در مراکز الکتریکی ایستگاه شامل؛ مرکز 20 KV ، اتاق کنترل و اتاق برق
- ❖ فعال کردن دکمه های مربوط به ESD1 بصورت دستی، که در اتاق کنترل و ورودی ایستگاه قرار داشته و می توان بوسیله آنها ایستگاه را با فشار زدایی یا بدون آن متوقف نمود در این حالت تنها سیستم UPS و تمام ابزار آلات و تجهیزات متصل به آن بدون تغییر به کار خود ادامه می دهد.

ESD2

شرایط بروز ESD2 :

- ❖ به هم خوردن شرایط پروسه و یا واحدهای کمکی
 - ❖ مشاهده آتش و یا گاز در مرکز تقلیل فشار ، MCC کولرهای گاز ، اطراف کمپرسورها، و ساختمان بویلرها
 - ❖ فشار دادن دکمه های مربوط به ESD2 بصورت دستی، که در اتاق کنترل، مرکز تقلیل فشار، ساختمان بویلرها و MCC کولرهای گاز قرار دارند
- بروز عوامل فوق ، توقف قسمتی از پروسه و یا واحدهای کمکی را در پی خواهد داشت. و البته موارد ذیل نیز اتفاق می افتند:

- (۱) توقف کمپرسورها
- (۲) باز شدن ولو بای پاس ایستگاه
- (۳) توقف مرکز تقلیل فشار
- (۴) توقف واحد تولید آب گرم
- (۵) توقف کولرهای گاز
- (۶) توقف گاز سوخت توربینها

ESD3

این حالت در صورت بروز یکی از عوامل زیر ایجاد می شود:

- ❖ به هم خوردن شرایط مربوط به تجهیز
- ❖ مشاهده گاز و یا آتش در نواحی مربوط به تجهیزاتی که در ارتباط با پروسه گاز نیستند، همانند ساختمان مولد اضطراری برق، کارگاه و ساختمان اداری
- ❖ فشار دادن دکمه های مربوط به ESD3 بصورت دستی، در اتاق کنترل که در این صورت یک تجهیز مشخصی از کار افتاده ، متوقف می شود.

تدابیر عمومی ایمنی در ایستگاه های تقویت فشار

از آنجا که نیروی انسانی سرمایه بزرگی به شمار آمده و حفظ این سرمایه در بالاترین اولویت قرار دارد، لذا باید تدابیر لازم جهت حفظ این سرمایه صورت گیرد. در این راستا تدابیر عموم ایمنی زیر در ایستگاه های تقویت فشار توصیه می شوند:

- کلیه پرسنل بهربرداری و تعمیرات در ایستگاه‌های تقویت فشار گاز، باید آموزش‌های لازم را دیده و گواهینامه ایمنی دریافت کرده باشند.
۱. کلیه امور بهربرداری و تعمیرات باید مطابق دستورالعمل کارخانه سازنده انجام گیرد.
 ۲. وسایل پیشگیری و اطفاء حریق و کمک‌های اولیه در محل‌های مناسب تعبیه شود.
 ۳. کلیه حفاظت‌های آتش‌سوزی، نشت گاز، انفجار و غیره در سرویس باشند.
 ۴. سیستم‌های تهویه و کنترل دما و رطوبت سالن‌ها، سالم و برقرار باشند.
 ۵. به منظور جلوگیری از برق‌گرفتگی و تخلیه الکتریکی، کلیه تجهیزات باید مجهز به سیستم برقگیر باشند.
 ۶. از ایجاد هر گونه آتش در محوطه ایستگاه خودداری گردد.
 ۷. تدابیر ایمنی لازم به منظور کاهش سر و صدا در محیط ایستگاه انجام گیرد.
 ۸. هرگونه آتش‌سوزی و نشت گاز باید کتبا گزارش شود.
 ۹. تعمیر و سرویس تجهیزات با استفاده از مجوز (Permit) و با هماهنگی‌های لازم انجام گیرد.
 ۱۰. هر گونه تزریق و تخلیه گاز در لوله‌ها با رعایت اصول ایمنی و احتیاط انجام گیرد.

نکات ایمنی در کار با توربوکمپرسورها

- توربوکمپرسورها جزء اصلی‌ترین تجهیزات ایستگاه بوده که حساس‌ترین قسمت را تشکیل داده و بیشترین تماس افراد نیز با این تجهیز می‌باشد. لذا در کار با توربوماشین‌ها و اجزای کمکی آنها باید به نکات ایمنی که در ذیل خواهد آمد توجه کرد. البته باید متذکر شد که این موارد همه نکات ایمنی را شامل نمی‌شود، بلکه جزء مهمترین موارد ایمنی در این وسایل می‌باشند:
۱. به افرادی که با کتابچه راهنما و طرز کار سیستم آشنایی ندارند، نباید اجازه کار، تنظیم و بازکردن سیستم و اجزای کمکی را داد.
 ۲. هیچ شخصی نباید در نگهداری و تعمیرات توربوماشین و اجزای کمکی آن تلاش کند، مگر اینکه تجربه و آشنایی لازم در کار با این تجهیزات و ابزارآلات معمولی و تخصصی را داشته باشد.
 ۳. تخلیه‌ها و آگروزها باید در محل امنی صورت گیرد.
 ۴. از جایگزینی گیره‌ها، نگهدارنده‌ها، هدایت‌کننده‌ها و دیگر وسایل موقت پرهیز شود.
 ۵. از کار توربوماشین با سرعتی نزدیک به سرعت بحرانی و شرایطی بجز شرایط طراحی باید جلوگیری شود.
 ۶. هیچ شخصی اجازه برداشتن پوشش‌ها و حفاظ‌ها (Covers & Guards) را در حین کار واحد ندارد.
 ۷. پرسنل بایستی از تماس با سطوح تجهیزاتی که ایزوله نیستند و همچنین لوله‌هایی که تحت دماهای بالا یا خیلی پایین هستند، حفاظت شوند.
 ۸. فقط قطعات جایگزین اصلی که توسط کارخانه مربوطه تهیه شده است، جایگزین قطعات توربوماشین و یا تجهیزات جانبی شود تا بازدهی، قابلیت اعتماد، ایمنی و عمر مفید دستگاه تضمین شود.
 ۹. قبل از آن که هر کار تعمیراتی بر روی واحد شروع شود، مراحل قطعی به منظور جلوگیری از استارت سهوی توربوماشین باید انجام گیرد.

۱۰. هیچ اصلاحی بر روی توربوماشین و تجهیزات کمکی بدون موافقت کارخانه سازنده نباید صورت گیرد.
۱۱. هنگامی که آببندها در حال کار نیستند باید مراحل قطعی برای جلوگیری از ورود گاز به کمپرسور انجام گیرد.
۱۲. هنگامی که سیستم باز و یا در حال تعمیرات اساسی (Overhaul) می‌باشد، باید سیستم ایزوله شده و فشارزدایی شود.
۱۳. در حال تعمیر سیستم سوخت و یا کار بر روی آن، برای جلوگیری از جرقه و آتش سوزی و یا انفجار در توربوماشین و سیستم‌های فرعی آن باید مراقبت‌های ویژه صورت گیرد.
۱۴. هنگام کار بر روی هر جزء الکتریکی سیستم، برق آن ایزوله شده و مراحل قطعی برای جلوگیری از اتصال سهوی برق انجام پذیرد.
۱۵. تمامی وسایل ایمنی و کنترل باید در فواصل زمانی منظم، چک، کالیبره و تست شوند.
۱۶. نباید از محصولات فرار و قابل اشتعال برای تمیز کردن قسمت‌های ماشین استفاده شود.
۱۷. هنگام استفاده نکردن طولانی مدت از ماشین، باید حفاظت و نگهداری مناسب از ماشین بعمل آید.

تحلیل خط

می‌دانیم ایستگاههای تقویت فشار گاز، رابط بین تولید کننده و مصرف کننده اند، لذا هرگونه خللی در امر انتقال گاز باعث بروز اختلال در فرایند تولید و مصرف خواهد گردید. مهمترین عملی که ایستگاهها انجام می‌دهند کنترل، راه اندازی و توقف واحدهای ایستگاه بر مبنای نیاز مصرف کننده های صنعتی و خانگی است. با توجه به وابستگی اکثر صنایع مهم کشور به گاز و نیاز مبرم مصرف کننده های خانگی به این سوخت، بخصوص در فصول سرد سال، اهمیت کنترل و اداره ایستگاهها با توجه به شرایط خط یا خطوط سراسری گاز بیش از پیش نمایان می‌شود. و البته تسلط بهره بردار نسبت به خط و ایستگاه، کمک شایانی به امر انتقال گاز با بیشترین بازده ممکنه خواهد داشت. این گفتار به بررسی تصمیمات بهره بردار در نحوه کنترل واحد و در نتیجه تأثیراتی که خط از این تصمیمات خواهد پذیرفت، می‌پردازد. از جمله مسائلی که یک بهره بردار باید بداند، تأثیرات متقابل ایستگاههای قبل و بعد، روی ایستگاه خود است. بهره بردار می‌بایستی با در نظر گرفتن محدوده های مجاز سرعت، فشار، دما و فلو ایستگاه، بتواند با کم و یا زیاد نداشتن دور توربین فشار ضعیف و در نتیجه کمپرسور گاز، بهره برداری مناسبی از ایستگاه در جهت رفع نیازهای خط سراسری داشته باشد. اولین چیزی که بهره بردار باید بداند تعامل مناسب با دیسپچینگ است.

واحد کنترل مرکزی DISPATCHING : این مرکز فرماندهی و کنترل تمامی خطوط سراسری کشور را بعهده داشته و اشراف کامل بر خطوط سراسری، ایستگاههای تقویت فشار، تولید کننده و پالایشگاهها و در نهایت مصرف کننده ها، دارد. بهره بردار موظف است بر اساس تقاضا و نیاز دیسپچر اقدام به تغییر دور در جهت افزایش و یا کاهش فلو نماید البته در صورتیکه خارج از محدوده مجاز کارکرد توربو کمپرسور ایستگاه نباشد. در ضمن هر گونه راه اندازی و یا توقف واحد نیز بدون اجازه دیسپچینگ مجاز نخواهد بود. داشتن تحلیل مناسب و صحیح از شرایط فشار و فلو ورودی و خروجی ایستگاه بسیار مهم و اساسی است و در صورتیکه بهره بردار از قدرت تحلیل مناسب در مورد پارامترهای فوق برخوردار نباشد، ممکن است باعث بروز اختلال بخصوص در ایستگاههای قبل و بعد از خود و البته مشکلات برای مصرف کننده شود.

در زیر به بررسی برخی شرایط ایستگاه و وظایف بهره بردار در برخورد با آنها خواهیم پرداخت.

افزایش دور:

با زیاد کردن دور توربین فشار ضعیف و در نتیجه کمپرسور گاز ، انرژی جنبشی بیشتری از طرف کمپرسور گاز به سیال اعمال شده ، در نتیجه این انرژی جنبشی تبدیل به سرعت و آن نیز توسط دیفیوزرها به فشار تبدیل می گردد. یعنی در اثر افزایش دور ، مکش کمپرسور در ورودی بیشتر شده (فشار ورودی کاهش می یابد) و در نتیجه گاز موجود در خط را با سرعت بیشتری می کشد یعنی فلو افزایش می یابد ولی از آن طرف فشار خروجی کمپرسور نیز بیشتر می گردد زیرا انرژی جنبشی بیشتری به گاز اعمال شده و سرعت گاز در کمپرسور بالا رفته و در نتیجه به فشار بیشتری تبدیل می شود. و این افزایش فشار خروجی با توجه به نسبت معکوس فشار و سرعت در گاز ها ، به سرعت کمتر و در نتیجه فلو عبوری کمتر منجر می گردد. به همین دلیل بلافاصله پس از افزایش دور ، فلو زیاد شده ولی پس از مدت نسبتاً کوتاهی مقداری کم می شود. اگرچه مقدار افزایش فلو به کاهش آن می چربد. حال به بررسی تأثیرات ایستگاه قبل و ایستگاه بعد و مصرف کننده در شرایط فوق می پردازیم .

❖ در صورت افزایش دور ، وقوع دو حالت زیر امکان پذیر است:

۱. در صورتیکه این افزایش فلو از ناحیه تولید کننده حمایت نشود یعنی ورودی کمپرسور چه به لحاظ فشار و یا فلو تقویت نگردد ، فشار ورودی افت بیشتری کرده و در نهایت به کاهش فشار و مقدار گاز در خط ورودی تا ایستگاه قبلی شده، کمپرسور با کاهش فشار ورودی از حداقل فشار مجاز مواجه شده و احیاناً نزدیک به خط سرچ می شود. بنابراین بهره بردار باید با توجه به شرایط خط و در صورتیکه فشار ورودی ، مناسب افزایش دور باشد و البته در محدوده حداکثر مقدار فلو مجاز نیز نباشد اقدام به افزایش دور نماید. در ضمن اگر فشار ورودی بیش از حد زیاد باشد بطوریکه اولاً این فشار ، فشار خروجی را نیز تا محدوده حداکثر مقدار مجاز بالا ببرد و ثانیاً نسبت تراکم تا حداقل آن یعنی حدود 1.1 برسد واحد به سمت چوک پیش رفته است در این حالت ، فعال بودن یا نبودن کمپرسور فرقی نداشته و عملاً کمپرسور گاز ، کار مفیدی انجام نمی دهد. راه گریز از چوک ، افزایش دور است ولی از آنجاییکه واحد به محدوده حداکثر فشار خروجی مجاز رسیده است ، تنها راه چاره ، توقف حداقل یکی از واحدهای فعال با هماهنگی دیسپچر است.

۲. اگر افزایش دور با افزایش مصرف همراه نگردد ، ایستگاه مقدار مشخصی گاز را عبور می دهد ولی از آنجاییکه میزان مصرف کمتر از مقدار فلو ایستگاه باشد اصطلاحاً خروجی کمپرسور پک می شود یعنی مقداری از گاز که مصرف نمی شود ، در طول مسیر خروجی خط ذخیره می گردد و چون گاز تراکم پذیر است نیروی اعمالی کمپرسور آن را فشرده تر کرده و فشار خط را در خروجی بالا می برد. این افزایش فشار در خروجی به معنی کاهش سرعت حرکت گاز در خروجی نیز می باشد لذا فلو عبوری رفته رفته کم می گردد این کاهش فلو به ورودی کمپرسور نیز تأثیر گذاشته یعنی گاز در ورودی کمپرسور و خروجی ایستگاه قبلی نیز ذخیره و متراکم می گردد یعنی فشار ورودی هم بالا می رود. این مساله نیز نشان می دهد این افزایش دور بی مورد بوده است و باید به حالت اولیه برگردد.

❖ در صورتیکه فشار خروجی افزایش پیدا کند :

۱. اولین معنای آن ، این است که میزان فلوی عبوری از ایستگاه متناسب با میزان مصرف آن نیست لذا با هماهنگی با دیسپچر و با کم کردن دور توربین می بایست در جهت کاهش فلو اقدام نحالت . این هماهنگی با دیسپچر از آن رو مهم است که در صورت بروز مساله فوق تمام ایستگاهها بایستی از دور خود بکاهند تا مقدار گاز خط را کاهش دهند.
۲. دومین حدسی که می توان از افزایش فشار خروجی ایستگاه زد این است که ایستگاه بعدی دچار توقف ناخواسته گردیده است و فلوی عبوری از ایستگاه در ورودی ایستگاه بعدی پک می شود. در این صورت مورد فوق از طریق دیسپچر به اطلاع بهره بردار خواهد رسید و بهره بردار می تواند موقتا اقدام به کاهش دور (در جهت کاهش فلو) نماید.

۳. وبالاخره سومین احتمال ، امکان بسته شدن یکی از شیرهای بین راهی است که طبیعتا در این صورت فشار خروجی به سرعت بالا می رود . این شیرها در فواصل بین ایستگاهها (تقریبا هر ۲۵ کیلومتر) نصب شده و در صورتیکه اختلاف فشار دو طرفشان از 15 تا 20 psi بیشتر شود بنا را بر شکستگی لوله گذاشته و بسته می گردند. وجود این شیرها همچنین در مواقع اضطراری مانند انفجار و آتش سوزی خط بسیار ضروری است بطوریکه در چنین شرایطی دو شیری که آتش سوزی بین آنها اتفاق می افتد بسته شده و آتش پس از تمام شدن گاز بین این دو شیر مهار می گردد. همچنین در زمان تعمیر قطعه ای از خط نیز با بستن دو شیر در طرفین قسمت تعمیری و تخلیه گاز ما بین آن ، اقدام به تعمیر می نمایند.

در هر صورت اگر فشار خروجی بصورت غیر عادی افزایش یابد صرف نظر از علت آن ، بهره بردار می بایست در جهت حفظ تعادل خط و رعایت آستانه تحمل فشار لوله های خط و ایستگاه و البته حفظ محدوده مجاز کارکرد توربو کمپرسور اقدام به کاهش دور و فلوی عبوری نماید و در صورتیکه کاهش مجاز دور (تا محدوده مجاز تعریف شده برای توربین) نتیجه بخش نباشد و در صورتیکه دیسپچر اصرار به حفظ واحدهای فعال داشته باشد اقدام به باز کردن شیر ریسایکل ایستگاه نماید زیرا واحدهای فعال برای ادامه کارکرد مجبور به عبور یک فشار ورودی و فلوی حداقل می باشند و در صورتیکه شرایط خط ایجاب کند تا میزان فلوی عبوری ایستگاه کمتر از مقدار حداقل طراحی آن باشد، می بایست از شیر ریسایکل کمک گرفت . این شیر مقداری از فلوی عبوری از کمپرسور را بجای اینکه وارد خط کند به ورودی می رساند و بنابراین می توان با استفاده از این مساله، هم حداقل فلوی واحد را تامین نحالت و هم فلوی کمتری را به خط زد. ضمن اینکه در این صورت و پس از طی مدتی مقدار گاز خط کم شده ، از تراکم خط کاسته شده و در نتیجه فلوی عبوری افزایش می یابد. البته لازم بذکر است که پس از باز کردن شیر ریسایکل ایستگاه ، باید به دمای ورودی و خروجی کمپرسور توجه شود زیرا در اینصورت ، از آنجاییکه گاز از خروجی کمپرسور که دما در آنجا بالاست بدون گذر از هرگونه خنک کننده ای به سمت ورودی می رود ، دمای گاز بصورت تصاعدی بالا رفته و احتمال توقف اضطراری واحد زیاد می گردد. در صورتیکه همه اقدامات فوق جواب ندهد و یا دمای واحدها بیش از محدوده مجاز بالا رود در آخرین اقدام ممکن و با هماهنگی لازم با دیسپچر اقدام به توقف یک واحد می نمایند.

کاهش دور : در صورت کاهش دور توربین فشار ضعیف و در نتیجه کمپرسور گاز ، انرژی کمتری به سیال منتقل شده و در نتیجه سیال سرعش کمتر شده و این سرعت

کمتر ، فشار کمتری را در خروجی تحویل خواهد داد . لذا با کاهش دور ، مکش کمپرسور از ورودی کمتر شده و مقدار گاز کمتری را می کشد و این بدان معنی است که گاز در ورودی کمپرسور ذخیره و در نهایت متراکم می گردد یعنی فشار ورودی بالا رفته و سرعت کم می گردد و این کم شدن سرعت به همان معنی کم شدن فلوی عبوری است این مساله پس از کاهش دور محسوس تر است و پس از طی مدت زمان نسبتاً کوتاهی فلو آرام آرام زیاد می شود ولی به مقدار اولیه نمی رسد. علت این افزایش فلوی نسبی کم شدن فشار خروجی است زیرا با کاهش دور ، انتظار کاهش فشار خروجی کاملاً منطقی است و در نتیجه کاهش فلوی عبوری ، ذخیره گاز خط در خروجی کمپرسور پایین آمده و این مقدار گاز نیز ، توسط ایستگاه بعدی و یا مصرف کننده زودتر کشیده می شود ، لذا در اثر کاهش فشار ورودی که نتیجه آن ذخیره مقداری گاز در ورودی و در نتیجه کاهش فشار خروجی که نتیجه آن کاهش ذخیره گاز در خروجی است مقداری به فلوی عبوری افزوده می شود، ولی همانطور که بیان گردید از میزان اولیه بیشتر نخواهد شد. بدیهی است میزان کم و یا زیاد شدن فلوی عبوری علاوه بر افزایش و یا کاهش فشار ورودی و خروجی نسبت مستقیم با **تغییرات نسبت تراکم** خواهد داشت. در کاهش دور می بایست به منحنی عملکرد و خط سرج توجه ویژه نحالت زیرا کاهش دور ناگهانی و زیاد، کمپرسور را به محدوده سرج نزدیک می کند.

❖ در صورت کاهش فشار ورودی حالت‌های زیر محتمل خواهد بود :

۱. احتمال بروز توقف ناخواسته در ایستگاه قبل که در آن صورت معمولاً دیسپچر مساله را اطلاع خواهد داد و بهره بردار می بایست میزان دور واحد های فعال را کاهش دهد زیرا در اثر از کار افتادن ایستگاه قبل ، از مقدار فشار و در نتیجه ذخیره گاز خط کاسته شده و ایستگاه با خطر سرج ، نزدیکی به مقدار حداقلی فشار و فلوی عبوری ورودی روبرو می گردد. در صورتیکه کاهش دور نتیجه لازم را ندهد بهره بردار می بایستی شیر ریسایکل ایستگاه را باز کرده تا با برگشت گاز خروجی از کمپرسور ، میزان فشار ورودی و فلوی عبوری را افزایش دهد. در صورت عدم حصول نتیجه لازم ، بهره بردار باید ، با هماهنگی دیسپچر اقدام به توقف یکی از واحدهای فعال نماید.
۲. دومین احتمال بسته شدن یکی از شیرهای بین راهی است که در قسمت قبل به آن اشاره گردید.
۳. سومین احتمال نیز کم شدن تولید بنا به هر دلیلی می باشد (اعم از خواست دیسپچر و یا مشکلات در پالایشگاهها و ...)

❖ در صورت کاهش فشار خروجی خواهیم داشت:

۱. تمام عواملی که باعث کاهش فشار ورودی می شوند.
 ۲. افزایش مصرف گاز از سمت مصرف کننده ها
 ۳. کم بودن دور توربین با توجه به شرایط خط
 ۴. زیاد بودن دور واحدهای فعال ایستگاه بعدی
- ❖ در صورت افزایش فشار ورودی خواهیم داشت:
۱. تمام عواملی که باعث افزایش فشار خروجی می گردند.
 ۲. کم بودن دور واحدهای فعال ایستگاه
 ۳. زیاد بودن دور واحدهای ایستگاه قبل

بهره‌برداري

مهمترین وظایف پرسنل بهره‌بردار عبارتند از :

- ۱) ارسال گزارشی از روند کار ایستگاه شامل فشار و دمای ورودی و خروجی، نرخ جریان و وضعیت آمادگی واحدها، به مرکز کنترل گاز (دیسپچر)، به صورت تلفنی

- ۲) ثبت اعداد و ارقام مربوط به پارامترهای مختلف کارکرد واحدها از قبیل؛ نقاط کاری واحد و شرایط کلی آنها، دمای یاتاقانها و روغن خروجی از آنها، ارتعاشات یاتاقانها، فشار روغن و عوامل دیگر، در برگه مربوطه (Log Sheet) و مقایسه آن با مقادیر مجاز.
- ۳) راهاندازی واحدها با هماهنگی دیسپچر و در صورت وجود ظرفیتهای لازم از قبیل:
- فشار ورودی مناسب
 - میزان جریان حجمی مناسب در خط لوله، با پیش‌بینی اینکه نرخ جریان واحدهای فعال کمتر از مقدار مجاز آنها نگردد.
 - فشار خروجی مناسب با پیش‌بینی اینکه فشار خروجی واحدهای فعال بیشتر از مقدار مجاز آن نگردد.
- ۴) توقف عادی واحدها در صورت وجود هر یک از عوامل زیر:
- عدم نیاز مرکز ارسال گاز و با پیش‌بینی اینکه نرخ جریان حجمی واحدهای فعال بیشتر از مقدار مجاز آن نشود.
 - احتمال وجود عیب در هر یک از قسمت‌های واحد.
 - وجود نشتی گاز در خطوط و اتصالات لوله‌های گاز موجود در ایستگاه.
- ۵) استفاده از واحدها در خطوط دیگر موجود بدین معنی که با درخواست دیسپچر و با تغییر موقعیت شیرهای ایستگاه از ظرفیت واحدهای آن برای انتقال گاز خطوط دیگر استفاده شود.
- ۶) گزارش و ثبت اشکالات بوجود آمده در کلیه تجهیزات ایستگاه.
- ۷) صدور مجوز کار (با رعایت موارد ایمنی) برای پرسنل تعمیرات ایستگاه یا منطقه عملیات، به منظور رفع اشکالات موجود.
- ۸) پرسنل بهره‌برداری ایستگاه علاوه بر وظایف فوق باید بر عملکرد تجهیزات موجود در ایستگاه نیز نظارت کاملی داشته باشند. در جداول زیر به برخی از نظارت‌های لازم اشاره شده است.
- جدول ۷-۱: نظارت‌های بهره‌برداری در سیستم SCS**

ردیف	توضیحات
۱.	فشار ورودی و خروجی ایستگاه در محدوده مناسب باشد.
۲.	فشار ورودی و خروجی واحدها در محدوده مناسب باشد.
۳.	دمای خروجی واحدها در محدوده مناسب باشد.
۴.	دبی عبوری از واحدها در محدوده مناسب باشد.
۵.	سرعت شفت LP و HP در محدوده مناسب باشد.
۶.	سطح مواد ته نشین شده در فیلترهای گاز ورودی ایستگاه (Scrubber) در محدوده مجاز باشد.
۷.	دمای گاز خروجی از خنک کننده های گاز در محدوده مناسب باشد.
۸.	کنترل و به کار گیری صحیح خنک کننده های گاز بر اساس ساعت کارکرد و تعداد استارت موتور آنها

۹.	سطح مواد ته نشین شده در فیلترهای واحد تقلیل فشار در محدوده مجاز باشد.
۱۰.	فشارهای خروجی از واحد تقلیل فشار برای مصارف مختلف در محدوده مناسب باشد.
۱۱.	دمای آب خروجی بویلرها در محدوده مناسب باشد.
۱۲.	فشار آب بویلرها در محدوده مناسب باشد.
۱۳.	دمای گاز مصرفی واحدها (Fuel Gas) در محدوده مناسب باشد.
۱۴.	اختلاف فشار دو سر فیلترها در سیستم Dry Seal Gas واحدها در محدوده مناسب باشد.
۱۵.	کنترل در سرویس بودن کمپرسور هوا و اینکه فشار هوای خروجی در محدوده مناسب باشد.

جدول ۷-۲ نظارت‌های بهره‌برداری در سیستم UCP

۳	کنترل فشار هوای خروجی از مرحله شانزدهم کمپرسور محوری دمای روغن ورودی و خروجی به خنک کننده های روغن (Oil Coolers) واحدها در محدوده مناسب باشد.
۴	کنترل زاویه پره های راهنمای کمپرسور (IGV) فشار روغن، سیستم روغنکاری توربین در محدوده مناسب باشد.
۵	کنترل زاویه پره های راهنمای توربین (NGV) سیستم جدا کننده بخارات از روغن توربین (Oil Separator) در سرویس باشد
۵	سیستم تمیز کاری فیلترهای ورودی توربین (Pulse Jet) در سرویس باشد.
۶	ارتعاشات شفت‌های HP و LP در محدوده مناسب باشد.
۷	دمای یاتاقانهای واحد و روغن خروجی از یاتاقانها در محدوده مناسب باشد.
۸	دمای فضای بین پره های HP, LP (wheel space) در محدوده مناسب باشد.
۹	دمای اتاق های توربین در محدوده مناسب باشد.
۱۰	دمای اگزوز توربین در محدوده مناسب باشد.
۱۱	فشار گاز تغذیه توربین (Fuel Gas) در محدوده مناسب باشد.
۲	کنترل دمای هوای خروجی از مرحله شانزدهم کمپرسور محوری

جدول ۷-۳ نظارت‌های بهره‌برداري برسیستم PMS

ردیف	توضیحات
۱.	سیتم کنترلي PMS در حالت Automation باشد.
۲.	ولتاژ و آمپر خطوط KV ۲۰ در محدوده مناسب باشد.
۳.	سلکتور کلیه بریکرها در حالت Remote باشد.
۴.	کنترل وضعیت در سرویس بودن ترانس‌ها
۵.	ژنراتور اضطراري آماده به کار باشد.(Ready For Automatic Start)
۶.	کنترل وضعیت کارکرد ژنراتور اضطراري (در صورت در سرویس بودن)
۷.	فشار و دمای آب خنک کننده در محدوده مناسب باشد.
۸.	فشار و دمای روغن روانکاری در محدوده مناسب باشد.

جدول ۷-۴ نظارت‌های مربوط به محوطه (Site)

ردیف	توضیحات
۱.	کنترل خطوط لوله و اتصالات و اطمینان از عدم صدمه دیدگی (مشاهده ظاهر لوله ها از لحاظ پوشیدگی و ترک خوردگی) و نشی گاز
۲.	سطح روغن تانک روغن واحدها در محدوده مناسب باشد.
۳.	کنترل داخل اتاقهای توربین و حصول اطمینان از عدم نشی روغن
۴.	کنترل کلیه الکتروموتورها از لحاظ عدم سروصدای غیر عادی
۵.	کنترل و بازرسی اتاق بویلرها و اطمینان از کارکرد صحیح بویلرها و عدم نشی آب
۶.	کنترل و بازرسی کلیه شیرهای ایستگاه و دیگر تجهیزات و اطمینان از صحت عملکرد آنها .

جدول ۷-۵ نظارت‌های مربوط به اتاق مولد (Engine Room)

ردیف	توضیحات
۱.	دمای انجین روم در محدوده مناسب باشد.
۲.	کسب اطمینان از شارژ بودن باتریها و بررسی ولتاژ و آمپر شارژر آنها
۳.	سطح روغن تانک انجین در محدوده مناسب باشد.

سیستم تهویه مطبوع جعبه کابلهای و ترمینالهای ابزار دقیق در سرویس باشد..	۴.
عدم وجود نشستی در سیستم روغنکاری . سوخت و سیستم خنک کاری	۵.
قرارگرفتن سلکتورهای مربوط به پائل کنترل مولد در حالت Auto / Remote	۶.

البته در صورت بروز اشکال در بسیاری از موارد موجود در جداول فوق، سیستم کنترلی مربوطه بهره‌بردار را از مشکل بوجود آمده مطلع می‌سازد، اما برای اطمینان از صحت عملکرد ایستگاه و اطلاع به موقع از مشکلات به وجود آمده و انجام اقدامات پیشگیرانه برای جلوگیری از توقف کار ایستگاه، لازم است پرسنل بهره‌بردار کنترل‌های ذکر شده را انجام دهند. لازم به ذکر است که پرسنل بهره‌بردار در کلیه موارد نظارتی خود باید ابتدا از صحت عملکرد سیستم‌های اندازه‌گیری و ابزار دقیق اطمینان حاصل کنند و در صورت احتمال وجود اشکال در این سیستم‌ها، پرسنل تعمیرات ابزار دقیق ایستگاه را جهت رفع اشکال، با خبر سازند.

منابع:

۱. کتاب راهنمای بهره برداری از توربین های گازی ALSTOM ساخت کشور سوئد (ترجمه از مهندس محسن جعفری ایوب)
۲. کتاب راهنمای بهره برداری از توربین های گازی NUOVO PIGNONE ساخت کشور ایتالیا (ترجمه از مهندس محمد حسن منصوری)
۳. انواع کمپرسورها و کاربردهای آنها ، خدمات آموزشی شرکت پتروشیمی ره آوران جنوب
۴. گاز از اکتشاف تا مصرف : مهندس جواد دانشیار
۵. کتاب های راهنمای ایستگاه های تقویت فشار گاز منطقه ۲ انتقال گاز