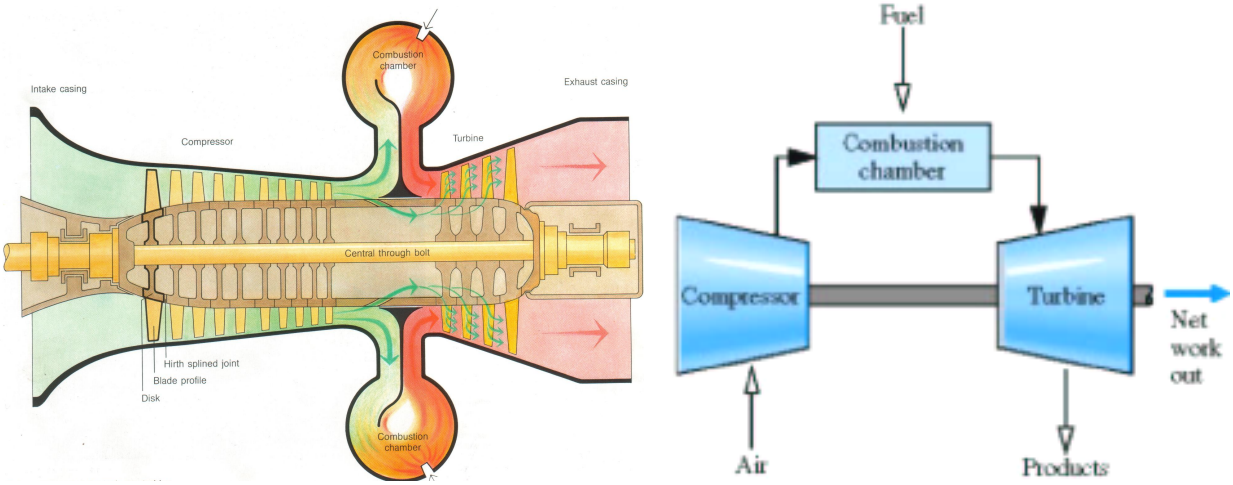
یکی از راههای تولید قدرت استفاده از انرژی محصولات احتراق بجای بخار آب می باشد. این روش در نیروگاههای سیکل گازی وسیکل ترکیبی مورد استفاده قرار می گیرد. در نیروگاه گازی هوا پس از فشرده شدن با سوخت گازی محترق شده و محصولات احتراق مستقیما وارد توربین شده و انرژی حاصل از این مواد موجب به حرکت آمدن توربین و نتیجتا ژنراتور و تولید برق می گردد(سیکل برایتون).



شکل ۱۵۶ - طرح شماتیک از یک نیروگاه گازی و مسیر عبور سیال

نیروگاه گازی بعلت یکسری از قابلیتهای منحصر بفردش بسیار مورد توجه قرار گرفته وکاربرد وسیعی در تولید برق و سایر مصارف پیدا نموده است. از جمله این خصوصیات می توان به:

- سرعت بالای نصب و آماده سازی
- قیمت مناسب آن در مقایسه با سایر نیروگاهها
- راه اندازی و توقف بسیار سریع
- قابلیت نصب در مکانهایی که برای سایر نیروگاهها محدودیت ایجاد می کند
- بهره برداری آسان
- استفاده در سیستمهای مشترک مانند آب شیرینکن و گرمایشی و غیره

با وجود تمامی محسناتی که برای این نیروگاه شمرده شده، این نیروگاه دارای معایب و مشکلات قابل ملاحظه ای نیز می باشد.

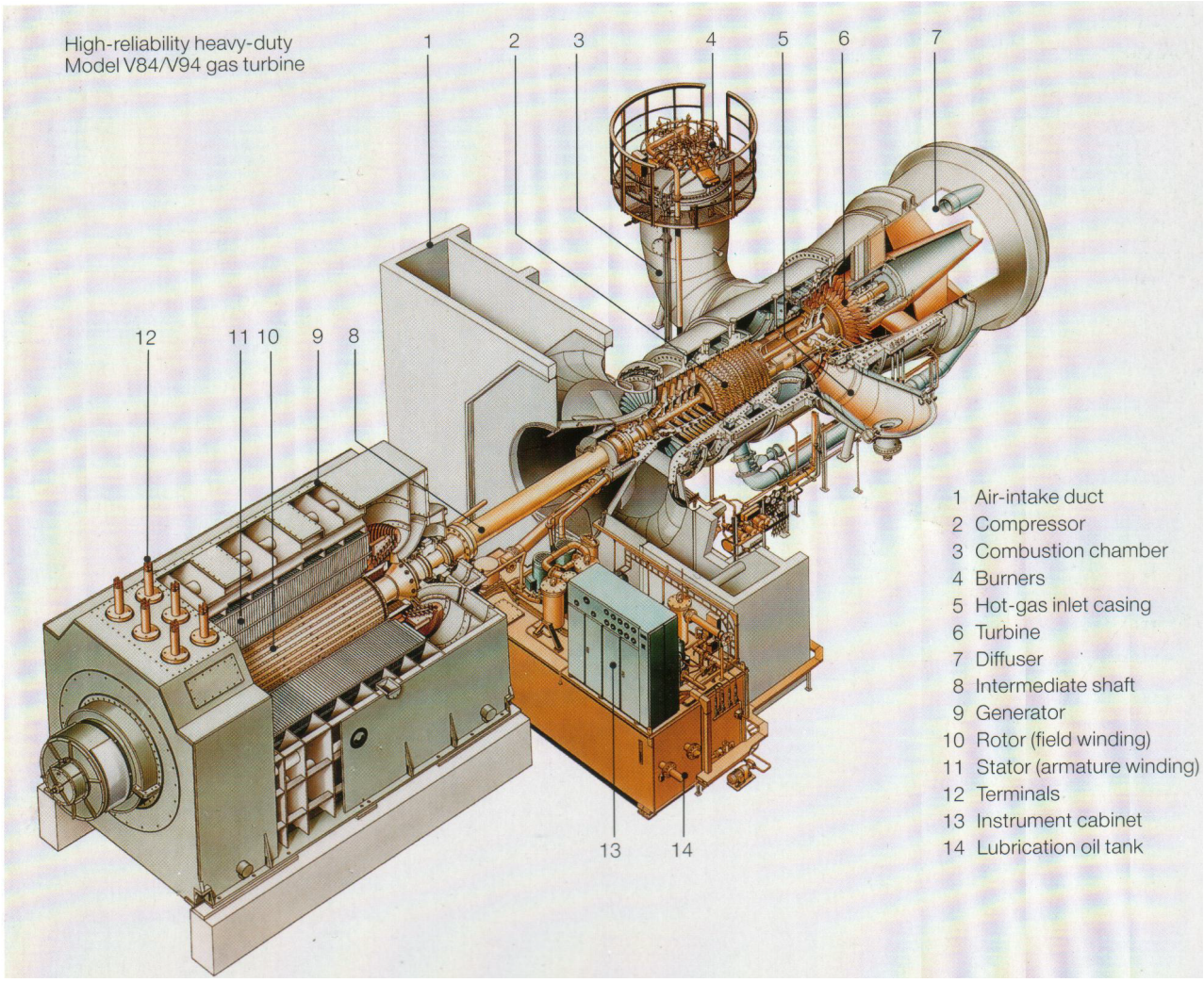
- راندمان بسیار پایین
- هزینه تعمیرات بالا
- آلودگی محیط زیست

در حال حاضر روشهای مختلفی جهت رفع مشکلات برشمرده مورد استفاده قرار گرفته که در ادامه به پاره ای از آنها اشاره می گردد. تجهیزات اصلی موجود در نیروگاه گازی شامل کمپرسور، محفظه احتراق، توربین، ژنراتور، کانالهای ارتباطی مانند اگزوز و ورودی هوا می باشد. سایر تجهیزات شامل تجهیزات اندازه گیری، سیستمهای سوخت رسانی، یاتاقانها، سیستم های روغنکاری و خنک کاری، شیرهای کنترلی و سیستم راه اندازی و بهره برداری می باشد. در شکل ۱۵۷ یک توربین گاز ساخت شرکت زیمنس با کلیه تجهیزات نمایش داده شده است.

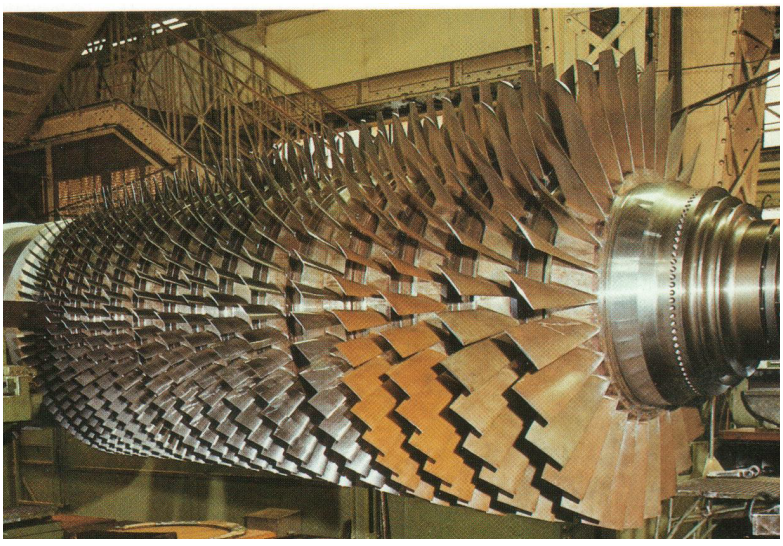
کمپرسور

همانطور که از شکل پیداست هوا پس از عبور از فیلتر ها وارد کمپرسور می گردد. کمپرسورها انواع مختلفی دارند. از جمله آنها می توان به کمپرسورهای شعاعی، محوری و پیستونی اشاره نمود. امروزه در اکثر نیروگاههای گازی از کمپرسورهای محوری استفاده می گردد. کمپرسور محوری همانند یک توربین می باشد که مسیر ورود وخروج آن برعکس شده است. این کمپرسورها از تعدادی پره ثابت و متحرک ساخته شده که هوا در هر ردیف از این پره ها متراکم شده و سپس وارد مرحله بعدی می شود. در شکل ۱۵۸ روتور کمپرسور به همراه پره های متحرک دیده می شود. لازم بذکر است که اندازه پره ها در ردیف ابتدایی بزرگترین و با حرکت به سمت انتهای کمپرسور

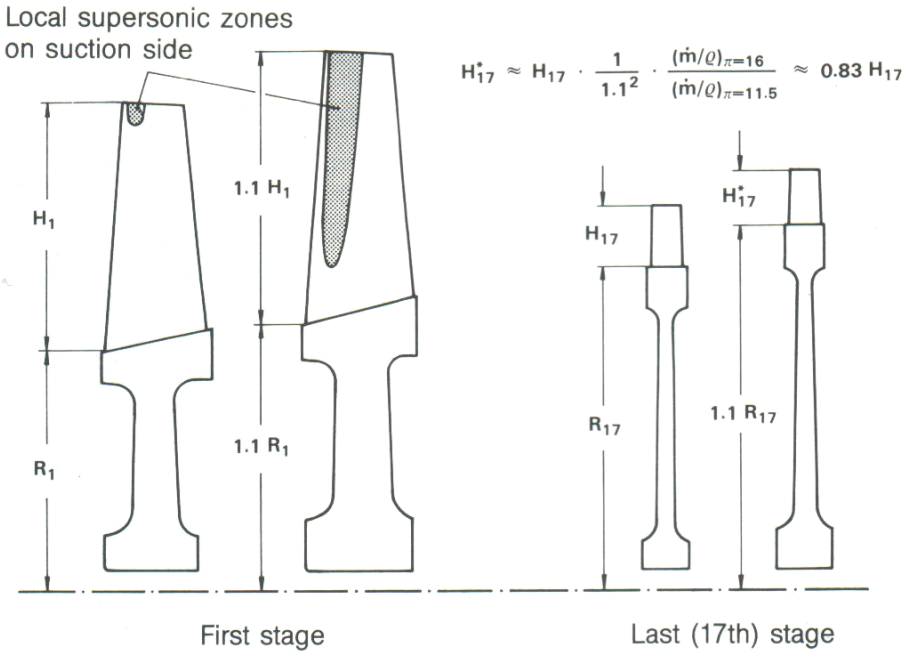
اندازه آنها کوچک می شود. علت این امر بدلیل متراکم شدن هوا و کاهش حجم آنبوده که برای تراکم بیشتر فضای مورد نیاز باید کوچکتر گردد. این مطلب در شکل ۱۵۹ کاملا مشخص است.



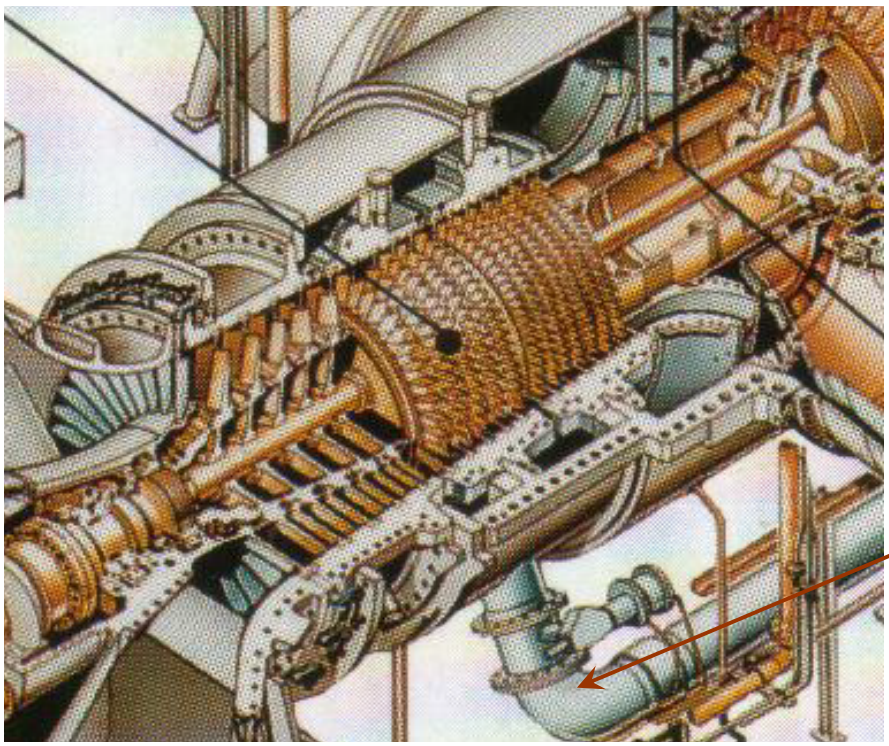
شکل ۱۵۷- توربین گاز ساخت شرکت زیمنس



شکل ۱۵۸- نمایی از یک کمپرسور و پره های متحرک آن



شکل ۱۵۹- اندازه با ابعاد واقعی پره های متحرک ردیف اول و هفدهم یک کمپرسور ۱۷ مرحله ای شرکت زیمنس



شکل ۱۶۰- چگونگی قرار گرفتن پره های ثابت و متحرک کمپرسور در کنار یکدیگر

وظیفه اصلی کمپرسور متراکم نمودن هوای مورد نیاز احتراق با فشار بالا می باشد. کمپرسور یکی از پرمصرف ترین قسمتهای نیروگاهی است که قسمت اعظم تولید نیروگاه گازی را مصرف می نماید. میزان تولید و راندمان نیروگاه رابطه مستقیم با نسبت فشار ایجاد شده در کمپرسور داشته که هر چه این نسبت بیشتر باشد میزان تولید و راندمان بیشتری خواهیم داشت. یکی از عوامل محدود کننده در افزایش نسبت فشار جدایش جریان بر روی پره ها می باشد که سبب مسدود شدن مسیر عبور جریان شده و عملا کمپرسور متوقف گردد. به این پدیده استال (Stall) می گویند. این مسئله مجددا با کاهش فشار مثبت بر طرف شده و کمپرسور شروع به کار می کند و پس از زمان

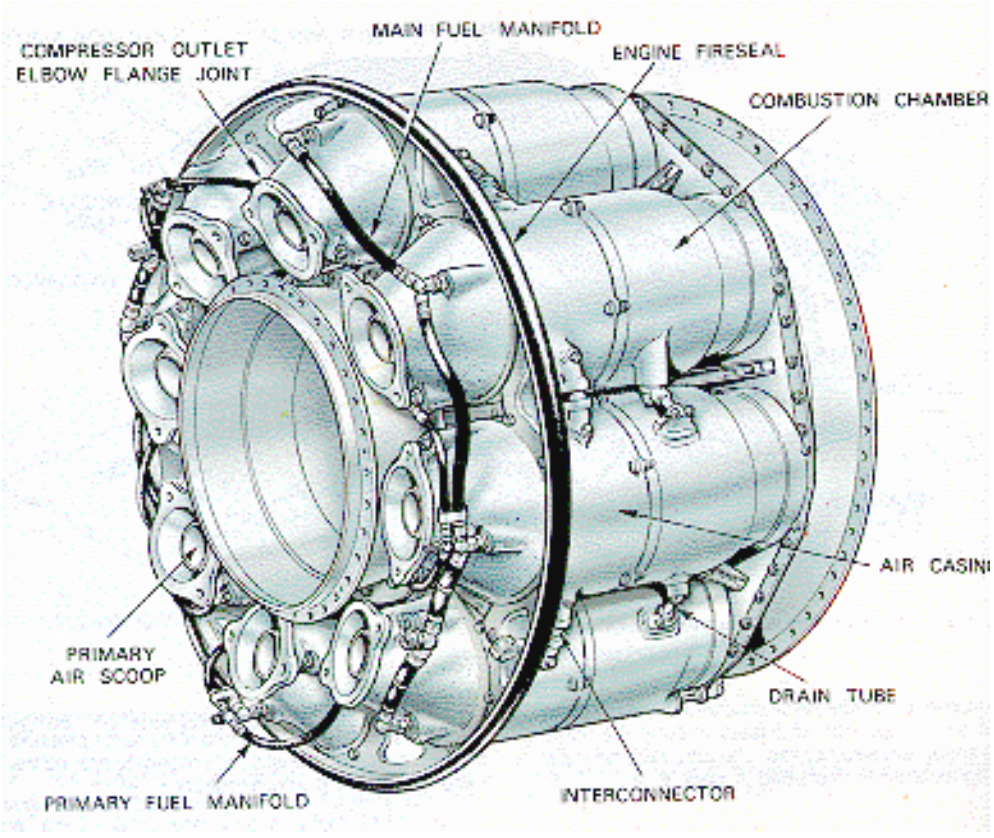
کوتاه دوباره شرایط ایجاد استال بوجود می آید. این مسیر رفت و برگشتی بصورت ارتعاشات شدید نمایان شده و خسارات جبران ناپذیری را از قبیل شکست پره های کمپرسور در بر خواهد داشت. غالبا برای جلوگیری از این پدیده نقطه کاری در پایین تر از این نقطه (نسبت فشار) قرار دارد. حالت رفت و برگشتی از شرایط کاری به استال و بالعکس را که سبب ناپایداری می شود سرژ (Surge) می نامند.

این دو پدیده در شرایط نرمال بهره برداری رخ نداده و با توجه طراحان به مشکلات آن، نقطه کارکرد را در شرایط پایدار قرار می دهند. اما این دو پدیده در مراحل راه اندازی و توقف واحد امکان بوجود آمدن را داراست. علت این مسئله در بهم خوردن نسبت دبی و سرعت کمپرسور می باشد که سبب جدایی جریان و ایجاد استال و سرژ می گردد. برای جلوگیری از این پدیده از مسیرهای خاصی دبی اضافه به داخل اگزوز فرستاده شده و مشکل زیاد بودن حجم سیال برطرف گردد. این مسیر ها با استفاده از شیر Bleed valve شناخته شده که در شکل ۱۶۰ مشخص شده است.

در زمان راه اندازی تا قبل از ایجاد احتراق و خروجی گرفتن از توربین درصدی از هوای فشرده بدون اینکه وارد محفظه احتراق و توربین بشود مستقیما وارد اگزوز شده و تخلیه می گردد. در زمان توقف نیز این مسئله تکرار می گردد. از هوای فشرده شده توسط کمپرسور در قسمتهای دیگر نیز استفاده می گردد. یکی از قسمتهایی که از هوای فشرده استفاده می نماید، فیلترهای موجود در کانال هوای ورودی می باشد. در صورتی که اختلاف فشار دو طرف فیلتر هوا افزایش یابد با استفاده از هوای فشرده کمپرسور (غالبا از ردیفهای آخر این هوا برداشت می شود) به داخل فیلتر دمیده شده که این امر سبب خروج گرد و غبار از فیلتربه محیط می گردد. از هوای فشرده شده جهت خنک کاری پره های و روتور توربین نیز استفاده می گردد(شکل ۱۶۵).

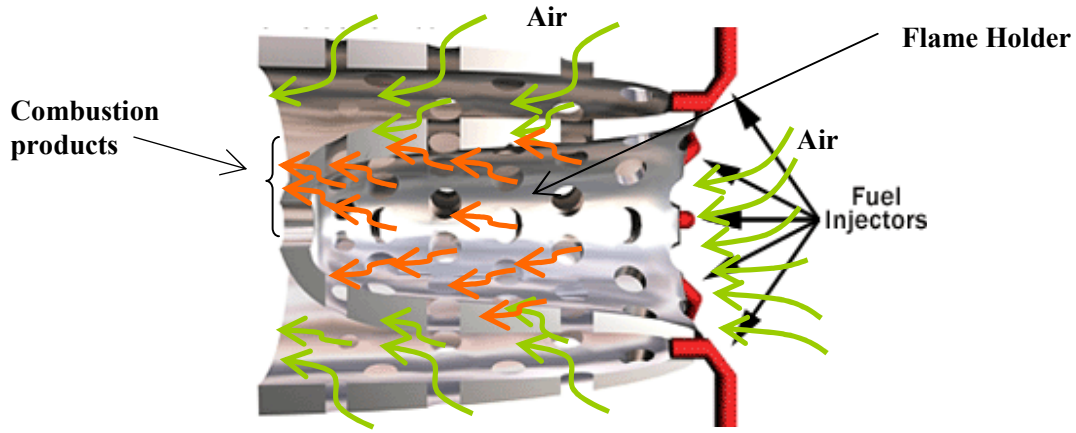
محفظه احتراق

محفظه احتراق محل ترکیب سوخت با هوا و تولید گاز داغ برای ورود به توربین می باشد. محفظه های احتراق به دوصورت کلی ساخته می شوند. دریک روش محفظه های احتراق بصورت محفظه های کوچک در حول یک دایره بصورت چنبره مانند قرار گرفته و محصولات احتراق از نقاط مختلف وارد توربین می شود (شکل ۱۶۱). این محفظه ها شامل مشعل، قطعه انتقال دهنده (Transition piece)، لوله های سوخت، محفظه اتاق احتراق و قطعات جانبی دیگر می باشد.



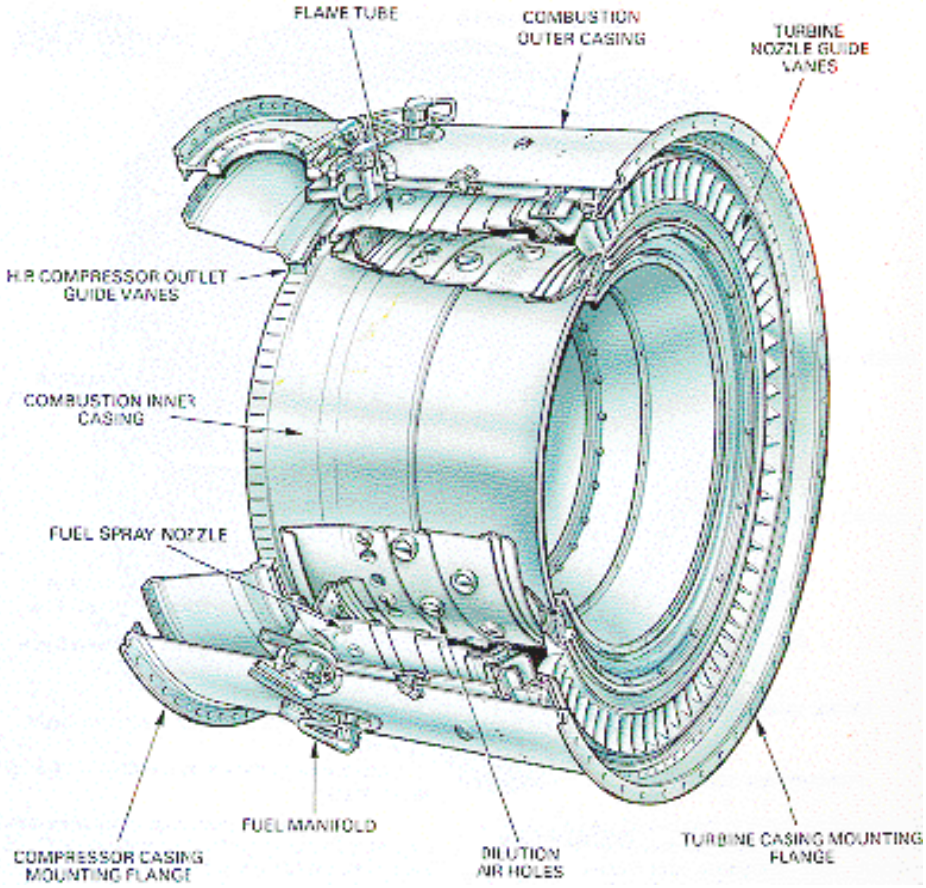
شکل ۱۶۱- یک محفظه احتراق نوع چمبره ای

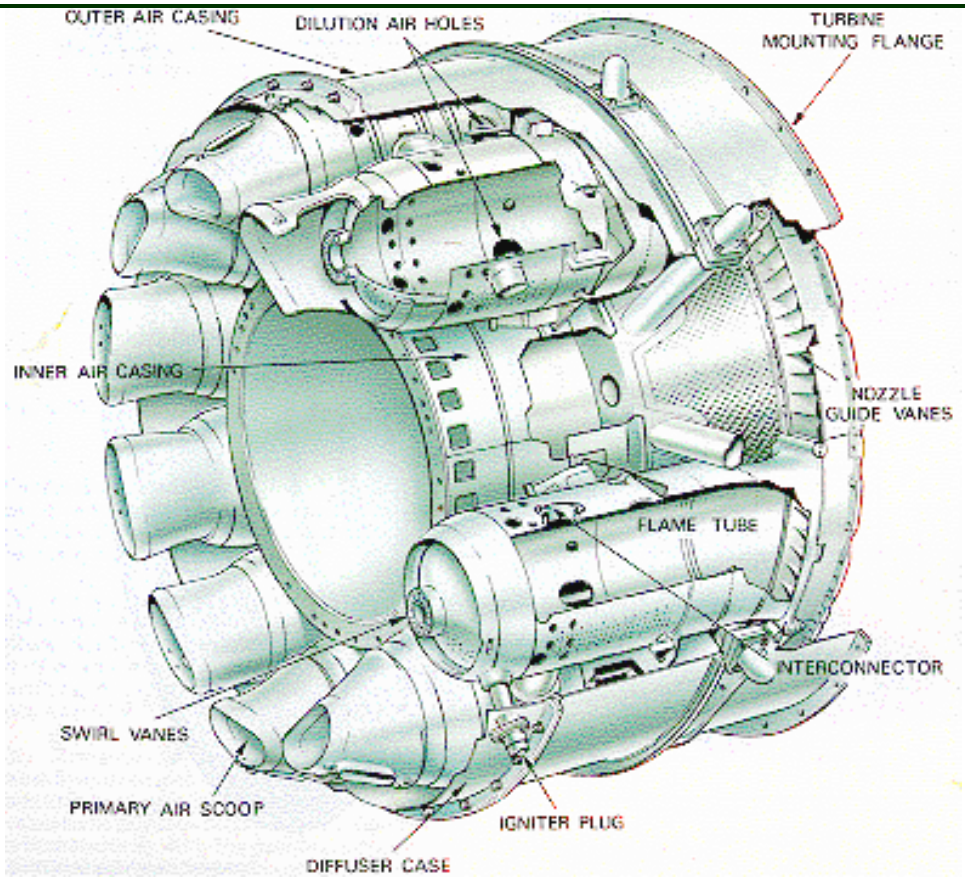
در هر یک از این محفظه ها هوای ورودی از کمپرسور به سه طریق مورد استفاده قرار می گیرد. یک قسمت از هوا با دبی بسیار کم جهت روشن کردن شمعک می باشد که این هوا در موقع راه اندازی مورد استفاده قرار می گیرد. قمست دیگر هوا که درصد قابل ملاحظه ای می باشد با سوخت ترکیب شده و در احتراق مصرف می گردد. مابقی هوای ورودی از فضای میان محفظه احتراق و پوسته بیرونی عبور کرده و از قسمت انتقال دهنده که بصورت مشبک می باشد بصورت تدریجی وارد محصولات احتراق می گردد(شکل ۱۶۲).



شکل ۱۶۲- مقطع برش خورده محفظه احتراق ومسیرهای عبور هوا، سوخت و محصولات احتراق

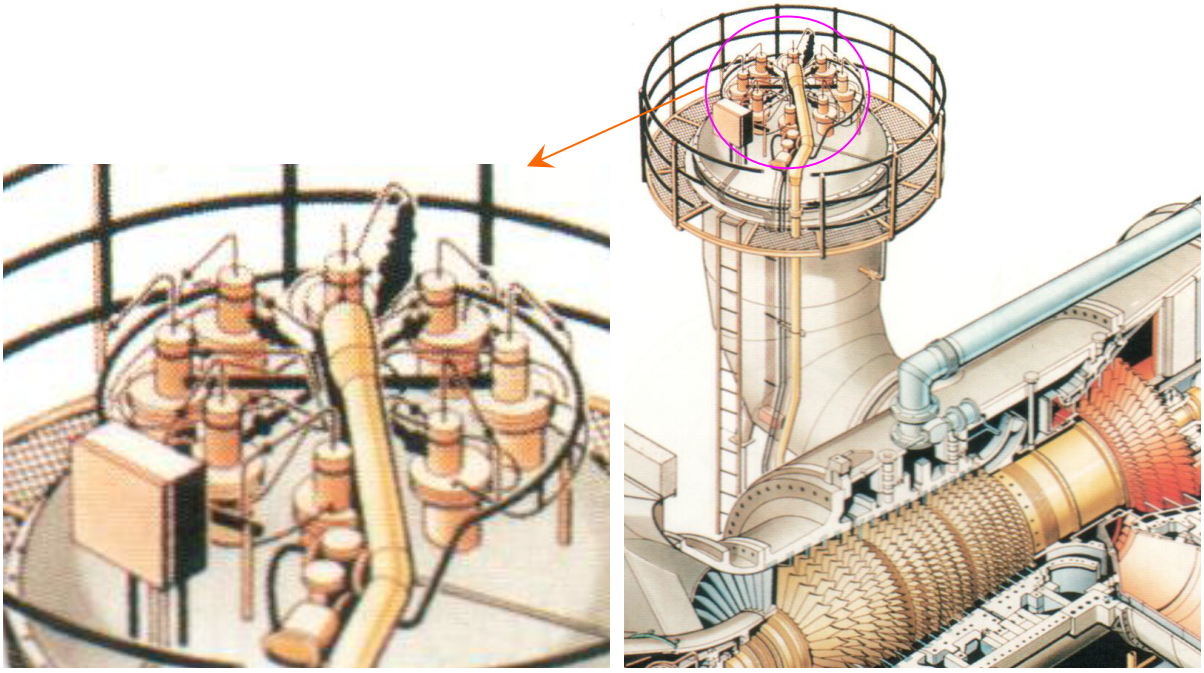
عبور جریان هوا از اطراف پوسته محفظه احتراق موجب خنک شدن بدن آن شده و از سوختن آن جلوگیری می نماید. از سوی دیگر این عمل سبب توزیع یکنواخت درجه حرارت محصولات احتراق شده و همچنین احتراق را کامل می نماید. کامل شدن احتراق به معنی سوختن قسمتهایی از سوخت می باشد که در احتراق اولیه شرکت نکرده و در ادامه حرکت جریان با هوای اضافی واکنش داده و یک احتراق کاملی را بوجود می آورد. در شکل ۱۶۳ قسمتهای پوسته بیرونی و نازلهای هدایت کننده وسایر تجهیزات نشان داده شده است.





شکل ۱۶۳- تجهیزات دیگر محفظه احتراق

قسمت سوم هوا برای خنک کردن نازلها، پره های توربین و روتور آن مورد استفاده قرار می گیرد. نوع دیگر محفظه احتراق بصورت محفظه مشترک با چند مشعل می باشد. در شکل ۱۶۴ این نوع محفظه احتراق نشان داده شده است.

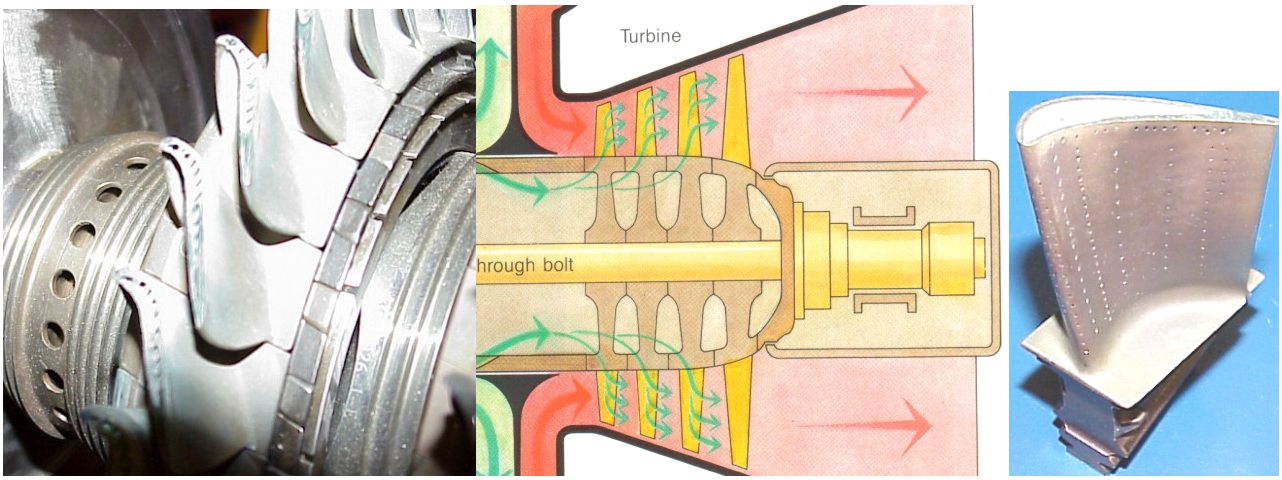


شکل ۱۶۴- محفظه احتراق عمودی با مشعلهای متعدد

در این نوع تعداد محفظه های احتراق دو تا بوده که در طرفین توربین گازی نصب می شوند. در نیروگاهای گازی با قدرت بالا از این نوع محفظه احتراق استفاده می گردد.

توربین گازی

توربین گازی در مقایسه با توربین بخار بسیار کوچکتر بوده وتعداد ردیف پره بسیار کمتری دارد. در عین حال قدرت تولیدی مناسبی در مقایسه با توربین بخار تولید می نماید. از آنجاییکه این قسمتها در معرض گاز بسیار داغ قرار دارند (بیش از۱۱۰۰ درجه سانتی گراد) لذا امکان سوختن آنها بسیار زیاد می باشد. از این رو پره های چند ردیف اول و نازلها با روکش مناسب پوشانده شده و در عین حال با ایجاد گذرگاههای مناسب در این قسمتها با استفاده از هوای فشرده کمپرسور خنک نیز می شوند. لازم بذکر است که این هوای فشرده حتما باید از قسمت انتهایی کمپرسور تهیه گردد تا ضمن اینکه فشار بیشتری نسبت به محصولات احتراق داراست، دمای مناسبی نیز داشته و موجب ایجاد تنش حرارتی نخواهد شد. در شکل ۱۶۴ مسیر عبور هوای خنک کن و پره های ردیف اول توربین بهمراه راه گذرهای عبور هوا بروی پره ها نمایش داده شده است.

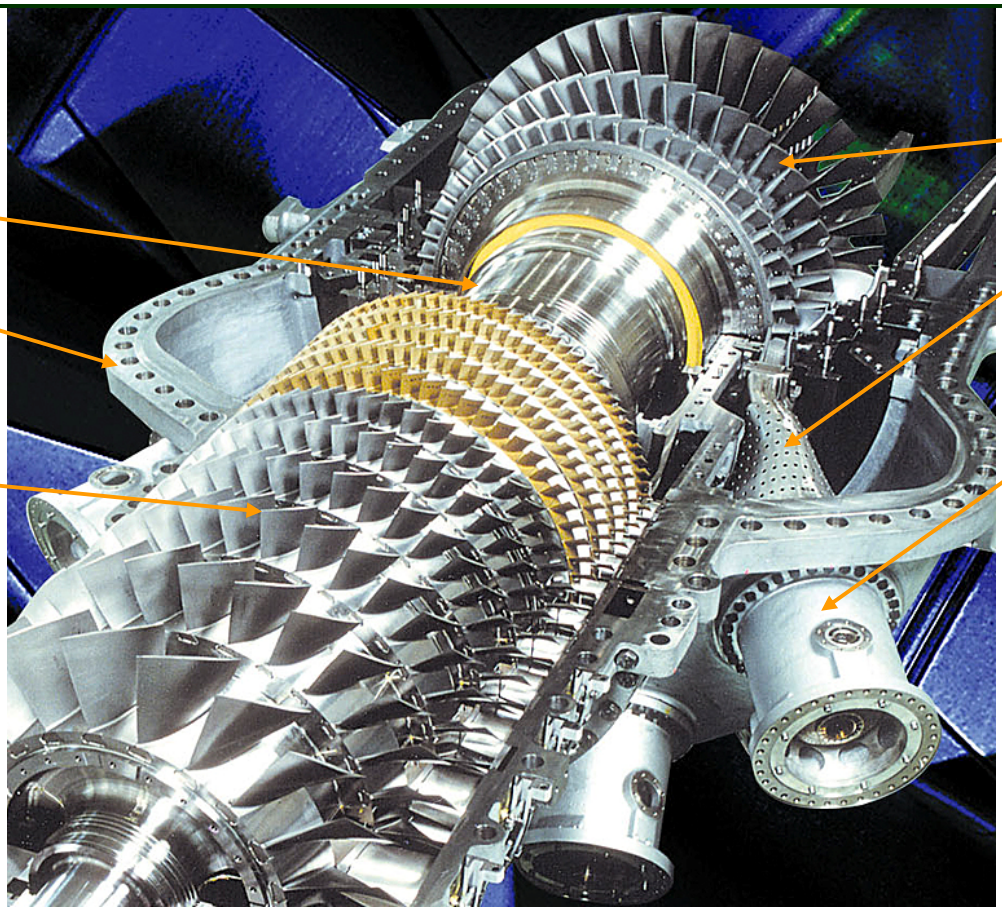


شکل ۱۶۵- سیستم خنک کاری روتور و پره های توربین گاز

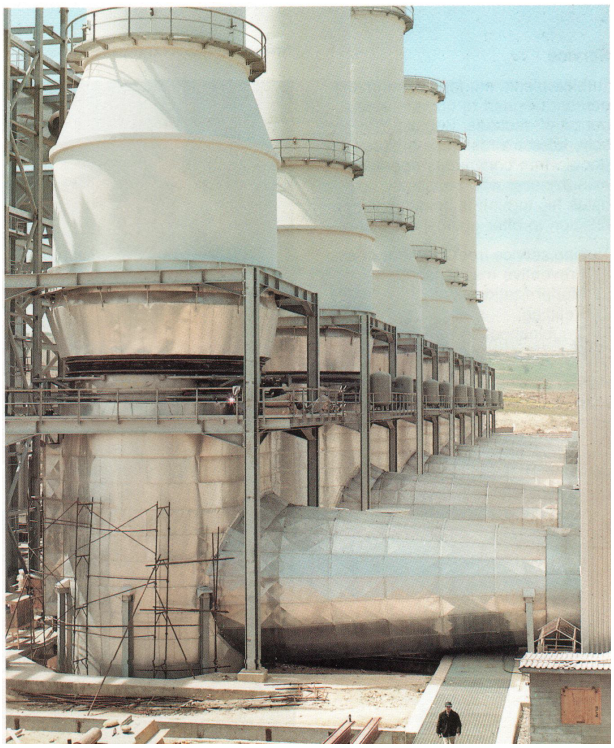
افزودن تعداد بیشتر پره ها تاثیر چندانی در قدرت تولیدی نداشته، لذا ماکزیمم از چهار ردیف پر در توربین استفاده می گردد. پره های ردیف آخر نیازی به استفاده از هوا برای خنک کاری نداشته و محصولات احتراق در زمان رسیدن به این پره های دارای دمای پایین تری بوده و در هنگام خروج از توربین دمایی معدل ۵۰۰ درجه سانتی گراد را دارا می باشند.

در نیروگاه گازی نیز از دو نوع یاتاقان برای خنثی نمودن نیروی محوری و شعاعی استفاده می گردد. مقداری از نیروی محوری با طرز قرا گرفتن توربین و کمپرسور (مخالف یکدیگر) خنثی شده و نیروی باقی مانده با استفاده از یاقان تراست خنثی می گردد. یاتاقانهای ژورنال یا شعاعی نیز همانند نیروگاه بخاری بوده و تنها تفاوت در قرار گرفتن یکی از یاتاقانها در معرض گاز های داغ در نیروگاه گازی می باشد(به شکل ۱۶۵ مراجعه شود). با توجه به شرایط کارکرد این یاتاقان، خنک سازی آن و بالاخص روغن یاتاقان بسیار اهمیت داشته و یکی از پارامترهای کنترلی در نیروگاه گازی می باشد. در شکل ۱۶۶ یک توربین گاز برش خورده واقعی نمایش داده شده است. در این شکل کمپرسور، محفظه های احتراق، بعضی از اجزای محفظه احتراق، توربین و پوسته پایینی نمایش داده شده است.

از دیگر قسمتهای توربین گاز، اگزوز و مسیر خروجی دود می باشد. دود دمایی در حدود ۵۰۰ درجه سانتی گراد داشته که در خروجی به محیط وارد می گردد(شکل ۱۶۷). شکل خروجی بصورت دیفیوز یا کانال واگرا بوده که با افزایش فشار برگشتی توربین موجب افزایش قدرت شده و از سوی دیگر با کم کردن انرژی جنبشی از صدای محصولات احتراق در خروجی خواهد کاست. از آنجاییکه در داخل محفظه احتراق دما بسیار بالاست و محفظه های احتراق به یکدیگر مرتبط بوده واین امر سبب می گردد تا سیستم شعله بین همیشه شعله را ببیند موجب ایجاد خطا خواهد شد.این خطا از آنجا ناشی می گردد که اگر مشعلی نیز خاموش باشد سیستم کنترل متوجه نشده و امکان سوختن مشعل باشد.



شکل ۱۶۶- نمای برش خورده توربین گاز



شکل ۱۶۷- مسیر خروجی دود

از این رو در اگزوز با استفاده از یک رینگ اندازه گیری دما (با استفاده از چندین ترموکوپل در محیط یک دایره) و مقایسه دما ها با یکدیگر به بررسی این پدیده پرداخت. از سوی دیگر روشن نبودن یک مشعل در بین ۶ الی ۱۲ مشعل موجب تغییر شرایط میدان سیال و عدم یکنواختی در آن شده که این مسئله موجب آنبالانسی دینامیکی را بدنبال داشته که حاصل آن ایجاد ارتعاش و بی نظمی در سیستم خواهد بود.

روشهای افزایش راندمان توربین گاز

۱- استفاده از سیستم مه پاش: در این روش هوای ورودی به کمپرسور با استفاده از تزریق آب خنک شده و باعث می گردد تا کمپرسور بتواند با قدرت کمتر به نسبت فشار بالاتری برسد. این روش قابلیت افزایش راندمان را به اندازه ۲٪ داراست. نکته قابل توجه این است که اندازه قطرات به گونه ای باید باشد که در مسیر کانال هوای ورودی به کمپرسور تبخیر شده و قطرات به پره های کمپرسور برخورد ننمایند. از سود دیگر محل تزریق باید حتما بعد از فیلتر هوا صورت گرفته تا مانع از چسبندگی گردو غبار به فیلتر هوا و معیوب شدن آن گردد.

۲- استفاده از سیستم خنک کن میانی: با توجه با اینکه گازها در اثر فشرده شدن گرم می شوند و گرما سبب انبساط آنها می گردد لذا توان بیشتری برای متراکم کردن انها نیاز است. این مسئله در کمپرسور نیز رخ می دهد. از این رو یکی از راههای کاهش توان مصرفی کمپرسور خنک کردن گازها در قسمتهای میانی کمپرسور می باشد. از این روش در نیروگاهها بصورت صنعتی استفاده نشده و در اجرا مشکل می باشد.

۳- استفاده از بازیاب حرارتی: دود خروجی از توربین گاز دارای انرژی بالایی بوده و با استفاده از این انرژی می توان به افزایش راندمان سیستم کمک نمود. یکی از روشهای استفاده از این تکنیک بکار گیری بازیای حرارتی است. در این تکنیک، هوای ورودی به محفظه احتراق در یک مبدل حرارتی با استفاده از دود اگزوز گرم شده و در نهایت انرژی کمتری در محفظه احتراق مورد نیاز بوده و حاصل این عمل کاهش میزان انرژی مصرفی وافزایش راندمان خواهد این بود. این تکنیک نیز به لحاظ محدودیتهای خاص بصورت صنعتی استفاده نمی شود.

۴- استفاده ازتزریق بخار: تغییرات آنتالپی نقش اصلی تولید قدرت را در توربین به عهده دارد. گازهای حاصل از محصولات احتراق دارای آنتالپی کمی بوده و این ضعف با افزایش دما تا حدودی جبران می گردد. افزایش دما محدودیتهای متعددی را به سیستم تحمیل می نماید. یکی از این محدودیتها، محدودیت متالورژی است. مشکل دیگر مسئله آلودگی محیط زیست می باشد. یکی از آلودگی های بارز در نیروگاه گازی تولید NO_x است که گازی بسیار سمی با ماندگاری بالا است. این گاز در دمای بالا تولید شده و در دمای پایین بوجود نمی آید. یکی از روشهای افزایش تولید و کاهش آلودگی NO_x استفاده از تزریق بخار در محفظه احتراق می باشد. این روش باعث کاهش دمای محصولات احتراق و متعاقب آن کاهش تولید NO_x گردد. اگرچه کاهش دما آنتالپی گاز را کاهش می دهد اما افزایش آنتالپی بخار آب بسیار تاثیر گذار بوده و افزایش بیش از ۲۰٪ قدرت را بوجود می آورد. تنها مشکل این طرح تهیه بخار مورد نیاز می باشد.

سیستمهای ترکیبی با توربین گاز

با توجه به دمای بالای محصولات احتراق در خروجی توربین گاز، می توان از این انرژی در مصارف متعدد صنعت استفاده نمود و با این روش راندمان مجموعه را افزایش داد. مواد استفاده عبارتند از:

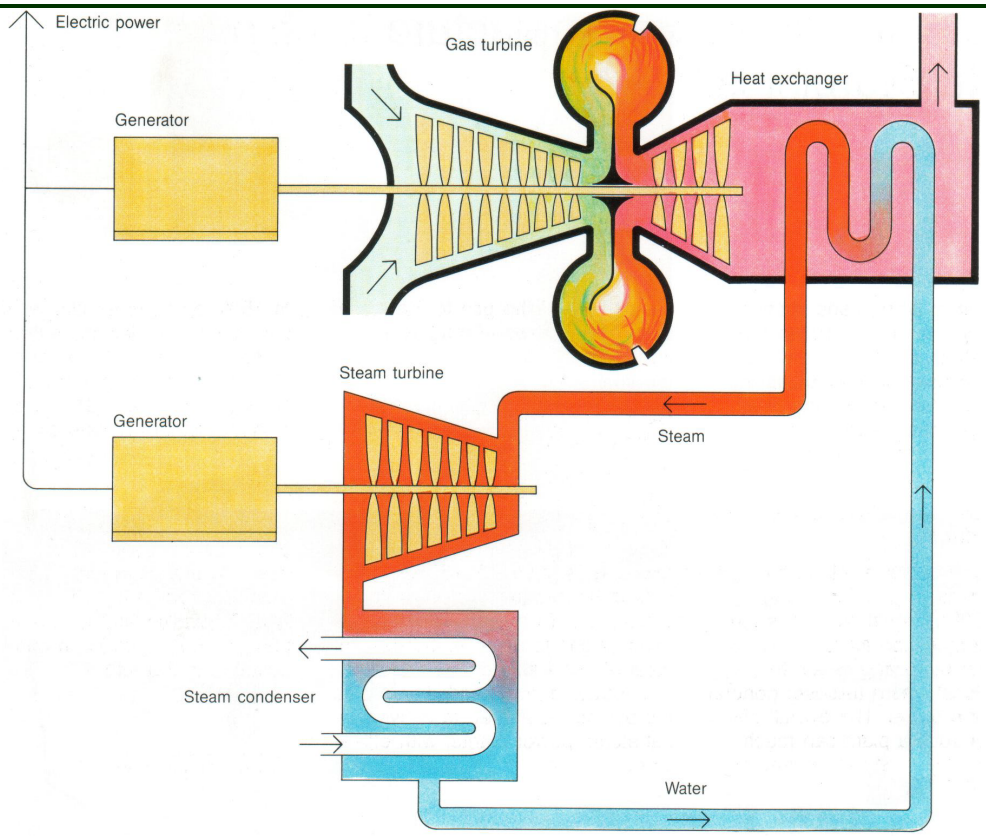
۱- نیروگاه سیکل ترکیبی

۲- سیستم آب شیرین کن

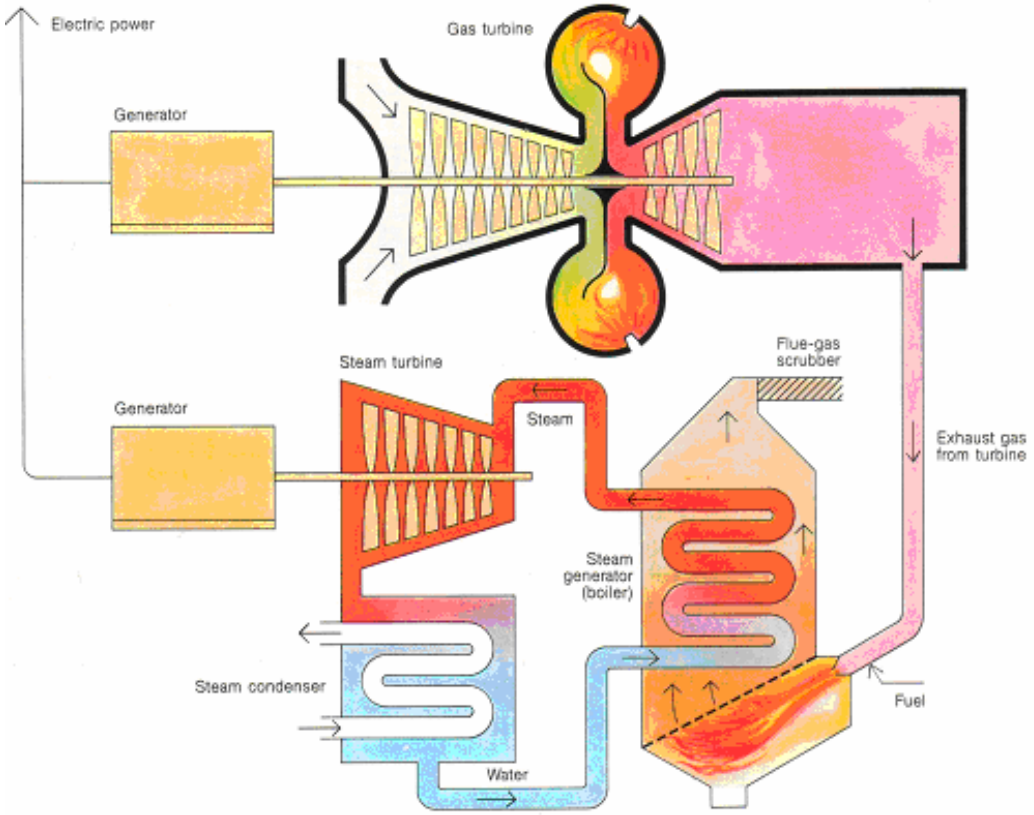
۳- تولید آب گرم و بخار برای مصارف صنعتی و خانگی

۱- نیروگاه سیکل ترکیبی

در این روش دود خروجی از اگزوز وارد یک بویلر بازیاب شده و تولید بخار صورت گرفته، بخار حاصل در چرخه یک نیروگاه بخاری وارد شده و تولید قدرت خواهد نمود. بویلر بازیاب به دو صورت مورد استفاده قرار می گیرد. در یک روش فقط از دود اگزوز به عنوان مرجع اصلی برای تولید بخار استفاده شود. بویلر مورداستفاده باید دارای قابلیت بسیار بالا بوده و حداکثر انتقال حرارت را بوجود بیاورد.



الف

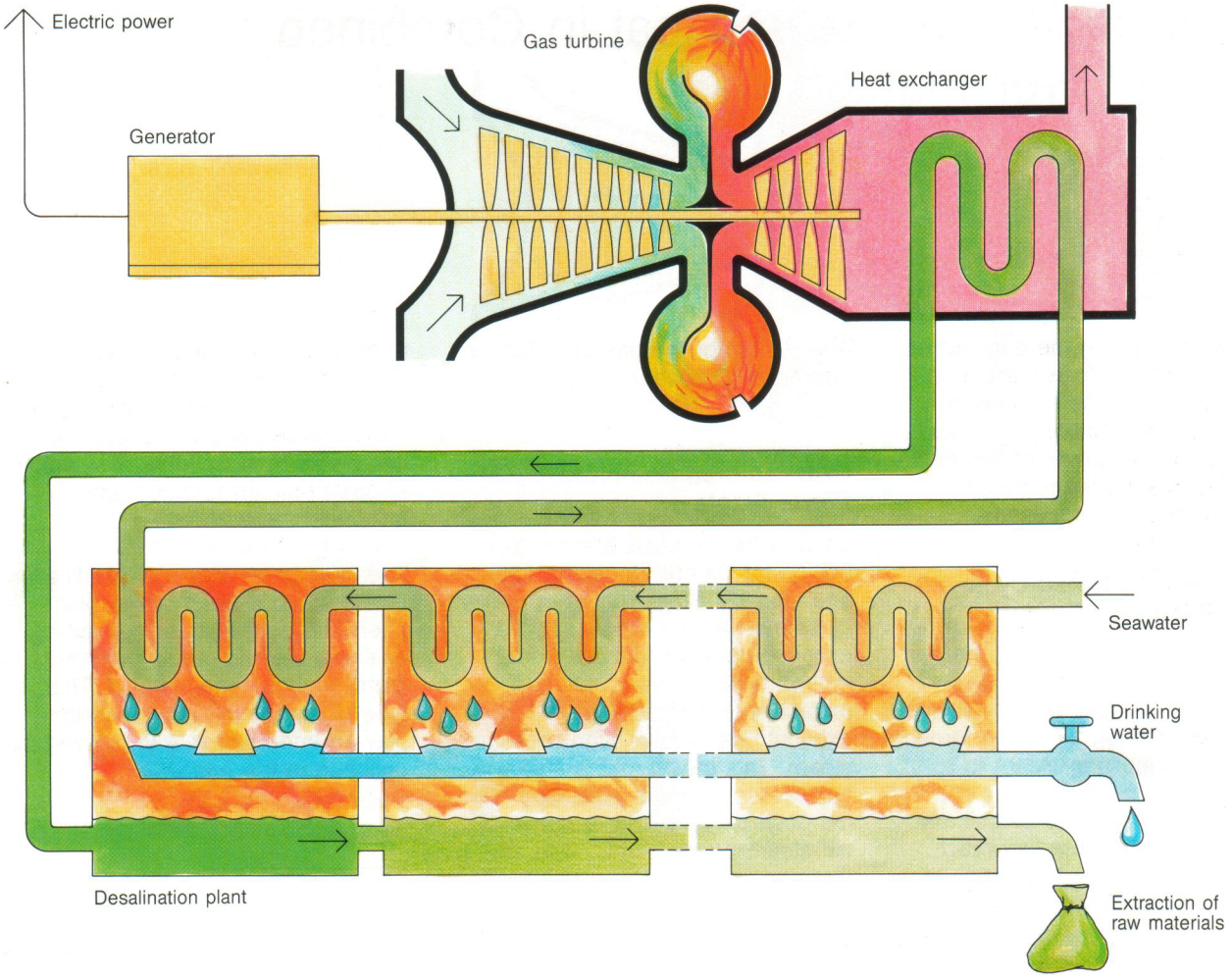


شکل ۱۶۸- نیروگاه سیکل ترکیبی با استفاده از الف- بویلر بازیاب ب- به عنوان هوای کرمکن بویلر

در نوع دیگر دود خروجی که دارای حداقل ۱۵٪ اکسیژن ترکیب نشده است به عنوان هوای اضافی وارد بویلر شده و با ترکیب مشعل می تواند در بالابردن راندمان احتراق و صرفه جویی در مصرف سوخت موثر باشد. راندمان این سیستمها بالاتر از ۴۲٪ خواهد رسید که در مقایسه با راندمان سیکل بخار (نزدیک ۳۵٪) و سیکل گازی (در بهترین شرایط ۳۰٪) افزایش قابل توجهی را نشان می دهد. این افزایش بیانگر مصرف سوخت کمتر و آلودگی کمتر محیط زیست و اقتصادی تر شدن تولید می باشد.

۲- سیستم آب شیرین کن

از دود خروجی دراگزوز می توان در پروسه های دیگر صنعتی که نیاز به انرژی حرارتی دارند نیز استفاده نمود. از جمله این صنایع، تاسیسات آب شیرین کن می باشد. در شکل ۱۶۹ طرح شماتیکی از این سیستم ترکیبی نشان داده شده است.



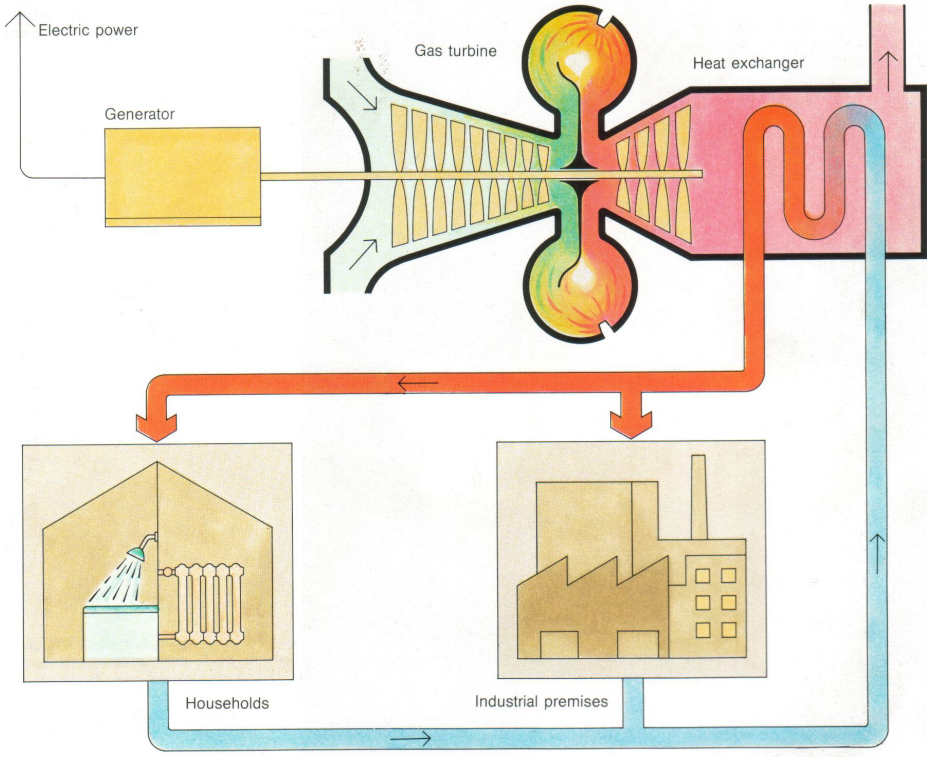
شکل ۱۶۹- طرح شماتیک سیستم ترکیبی نیروگاه گازی و آب شیرین کن

یک نمونه از این طرح که در دوحه قطر اجرا شده است در شکل ۱۷۰ نشان داده شده است. قدرت خروجی این مجتمع نیروگاه گازی ۶۳۰ MW بوده و میزان تولید سیستم آب شیرین کن در روز برابر ۱۸۰۰۰۰ متر مکعب می باشد که حدوداً ۸۰٪ مصرف آب شیرین کشور قطر می باشد. در این طرح آب دریا به عنوان منبع اصلی برای تهیه آب شیرین مورد استفاده قرار می گیرد.

شکل ۱۷۰- تاسیسات ترکیبی نیروگاه گازی و آب شیرین کن در دوحه قطر

۳- تولید آب گرم و بخار برای مصارف صنعتی و خانگی

یکی دیگر از استفاده های انرژی خروجی اگزوز نیروگاه گازی در سیستمهای گرمایشی خانگی و مصارف صنعتی همچون تولید بخار یا استفاده از این انرژی برای خشک کردن و رطوبت زدایی می باشد. البته این نکته باید مورد توجه قرار گیرد که این سیستم فقط در مناطقی که نیروگاه گازی به موسسات صنعتی و مسکونی نزدیک باشد امکان پذیر است.



شکل ۱۷۱- استفاده از انرژی دود خروجی برای مصارف خانگی و صنعتی