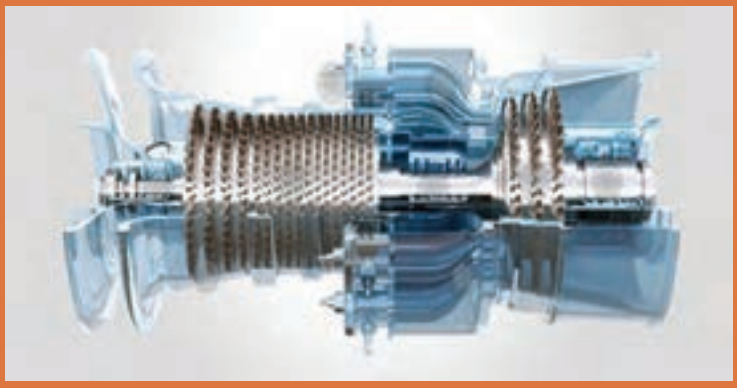
فصل سوم

نگهداری و تعمیر توربین بخار و گاز



این تصویر یک توربین گاز را نشان می‌دهد.

نوع درس: نظری ـ عملی

کل ساعت: ۶۰ساعت

ساعت نظری: ۲۰ساعت

ساعت عملی: ۴۰ساعت

واحد یادگیری ۳

نگهداری و تعمیر توربین بخار و گاز

اهداف کلی

هنرجوباید پس از پایان این پودمان قادرباشد:

۱ عملکرد دیگ‌ها را بررسی کند.
۲ یک دیگ بخار ساده را بسازد و راه‌اندازی کند.
۳ نکات زیست‌محیطی در رابطه با نگهداری و تعمیر دیگ بخار را رعایت کند.
۴ عملکرد توربین‌ها را بررسی کند.
۵ یک توربین بخار ساده را بسازد و راه اندازی کند.
۶ نکات زیست‌محیطی در رابطه با نگهداری و تعمیر توربین‌ها را رعایت کند.
۷ عملکرد توربین گاز را بررسی کند.
۸ یک توربین گاز ساده را بسازد و راه اندازی کند.
۹ نکات زیست‌محیطی در رابطه با نگهداری و تعمیر توربین گاز را رعایت کند.

روش تدریس فصل

۱ عموماً در ابتدای درس و در جلسه اول به‌مقدماتی که در محتوای درس ارائه شده پرداخته می‌شود تا دانش‌آموز با موضوعات درسی درگیر شود.
۲ سعی شود تمامی نکات فنی و ایمنی، همراه با دلایل آن در کارگاه بررسی شده و از هنرجویان خواسته شود در مباحث کلاسی و تمرینات کارگاهی شرکت کرده تا بتوانند این نکات را به‌خوبی فرا گرفته و برای همیشه به خاطر بسپارند.
۳ توصیه می‌گردد برای تدریس بهتر این فصل هنرآموز از روش تدریس کلاس معکوس استفاده کند.یعنی از هنرجویان بخواهد مطالب را در منزل از طریق اینترنت یا کتاب‌های مرتبط با توربین بخار و گاز، مطالعه و یاد گرفته و در کلاس وکارگاه با هدایت هنرآموزتمرینات را پاسخ دهد.
۴ پیشنهاد می‌گردد هنرآموز برای توضیحات تکمیلی مطالب فصل، موارد ذکرشده در بخش‌های دانش‌افزایی را مورد توجه قرار داده و هنگام آموزش آنها را به‌کار گیرد.
۵ توصیه می‌گردد باهدف تقویت مهارت‌های خوانداری و نوشتاری هنرجویان و نیز درک بهتر مطالب، از آنان خواسته شود تحقیق وگزارشات خود را به‌صورت دست‌نویس در روی کاغذ نوشته و ارائه دهند. و تا جای ممکن از کپی‌کردن مطالب اینترنت به‌صورت تایپ شده، آماده و خام خودداری شود.
۶ فعالیت‌های از قبیل «فکر کنید»، «بحث کنید»، و... برای فعال‌کردن هنرجویان

و به‌کارگیری اطلاعات، دانسته‌ها و تجربیات آنان است.سعی کنید این فعالیت‌ها به دقت اجرا شود و در پایان هر فعالیت، یک بحث کوتاه تکمیلی داشته باشید.

۷ از هنرجویان خواسته شود تمامی فعالیت‌های کارگاهی را انجام دهد.

سؤال‌های پیشنهادی

۱ مراحل مدار بخار را بگویید؟
۲ وظایف اصلی مخزن دیگ بخار چیست؟
۳ مراقبت‌هایی که از دیگ بخار می‌شود به چه صورت است؟
۴ عوامل خطرآفرین در دیگ بخار چیست؟
۵ اجزای اصلی توربین‌های بخار را نام ببرید؟
۶ استاتور چیست؟
۷ طبقه‌بندی توربین‌های بخار را بگویید؟
۸ مزایای توربین گاز را برشمرید؟
۹ توربین گاز با سیکل باز و بسته را توضیح دهید؟
۱۰ انواع موتور جت توربینی را نام ببرید؟

نگهداری و تعمیر دیگ‌های بخار

زمان آموزش	جمع : ۲۰ ساعت

اهداف جزئی واحد یادگیری:

ـ شایستگی‌های فنی:

۱ عملکرد دیگ‌ها را بررسی کند.
۲ یک دیگ بخار ساده را بسازد و راه‌اندازی کند.

ـ شایستگی‌های غیر فنی:

۱ در محیط کارگاه و کلاس، رعایت نظم وترتیب و نظافت‌کاری، کارگروهی، مسئولیت‌پذیری، توجه به محیط‌زیست و اخلاق حرفه‌ای را یاد بگیرد.

دانش‌افزایی

تاریخچه دیگ بخار:

امروزه ازدیگ‌های بخار در صنایع غذایی، سیستم‌های گرمایشی و نیروگاه‌ها استفاده می‌گردد وآنچه مشخص می‌باشد این است که استفاده از دیگ‌های بخار از اوایل قرن هجدهم میلادی با پیدایش ماشین‌های بخار در صنعت رایج گردیده است.

دیگ‌های اولیه از ظرف سربسته‌ای از ورق‌های آهنی که بر روی هم برگردانده شده و پرچ شده بودند در اشکال کروی ساده تا انواع پیچیده‌تر نظیر دیگ‌های واگنوات که شبیه والگنسر پوشیده‌ای بود ساخته می‌شدند.
این ظروف بر روی دیوارها یاز آجر بر روی آتش قرار داشتند و برای رساندن حرارت به نقاط یا از ظرف که مقابل آتش نبودند، از کانال‌های آجری استفاده می‌شد. این دیگ‌ها را بیرون‌سوز می‌نامند و بزرگ‌ترین اشکال آنها ایجاد رسوب و لجن در پایین‌ترین نقطه یعنی بالای سطح داغ آتش بود که سبب جلوگیری تماس فلز آب می‌شد که نتیجه آن بالا رفتن درجه حرارت فلز (حدود ۵۰۰ درجه سلسیوس) و تغییر شکل و در نهایت سوختن آن بود و هر چند فشار کاری دیگ‌های آن زمان در حدود فشار اتمسفر بود و لیکن این مشکل باعث خراب شدن و یا در مواردی ترکیدن دیگ می‌شد.
با افزایش تقاضا برای تولید دیگ‌های با فشار بالاتر، ساخت دیگ‌های یکه درونسوز بودند آغاز شد که از استوانه‌های فلزی ساخته می‌شدند و کوره نیز به شکل استوانه در درون مخزن استوانه‌ای قرار می‌گرفت و محصولات احتراق که در آن زمان بیشتر به‌صورت جامد (زغال سنگ) بودند از روی صفحه‌ای مشبک به درون کوره انتقال می‌یافتند و درون کوره می‌سوختند.
در این دیگ‌های بخار اولیه برای بهره‌برداری از دمای گازهای خروجی دودکش، از طریق انتقال آنها از کوره به کانال‌های تعبیه شده در زیر مخزن استوانه‌ای و در نهایت هدایت به سمت دودکش خروجی دیگ بخار اقدام به بالا بردن راندمان می‌نمودند ولیکن با توجه به اینکه فلز مخزن زیر کوره که به‌دلیل جمع شدن گل و لای حاصل از آب و کاهش تماس آن با آب مخزن دیگ بخار دارای دمای بیشتری می‌شد، همان مشکل تغییر خاصیت فلز تا حدودی وجود داشت هر چند دمای گازهای کانال خیلی کمتر از قبل بود. در ادامه فرایند پیشرفت تولید دیگ‌های بخار صنعتی، دیگ‌های معروف به لوله آتشی عقب خشک (FireTube &DryBack) طراحی و ساخته شدند که در این دیگ‌ها با قرار دادن لوله‌های متعدد داخل مخزن دیگ بخار، گازهای داغ انتهای کوره را از داخل آنها عبور داده و در نهایت از قسمت دودکش دیگ بخار خارج می‌شدند ولی از مشکلات این دیگ‌ها وجود سطح عایق‌کاری شده در انتهای کوره بود که علاوه بر اتلاف انرژی حرارتی، حین کار و یا انتقال در اثر لرزش و ضربه‌های ایجاد شده در کوره باعث صدمه دیدن عایق‌کاری و در نتیجه سوختن فلز انتهای کوره می‌گردید که این مشکل در نسل بعدی دیگ‌های بخار صنعتی با قرار دادن انتهای کوره در داخل آب تا حدود زیادی مرتفع گردید و سطح حرارتی دیگ افزایش یافت در این طرح که به نام طرح لوله آتشی و عقب‌تر (FierTube & WetBack) معروف می‌باشد، به‌طور معمول بسته به ظرفیت دیگ بخار از لحاظ انرژی حرارتی ورودی، به دو صورت: دو پاس و سه پاس، طراحی و ساخته می‌شوند راندمان حرارتی در دیگ‌های جدید با اعمال سطح حرارتی قابل قبول و عایق‌کاری

مناسب به حدود ۸۵٪ قابل دستیابی می‌باشد گامی هر چند کوتاه به دنبال دیگ بخار کورنیش تک کوره‌ای برداشته شد و آن دیگ بخار بزرگ‌تر دو کوره‌ای لانکاشیر بود که تحت امتیاز FAIRBAIRN و HETHERINGTON در سال ۱۸۴۴ به ثبت رسید که تا اوایل دهه ۱۹۵۰ میدان‌دار دیگ‌های صنعتی بود. احتمالاً بیش از هزار عدد از این دیگ بخار هنوز در انگلستان کار می‌کنند،گر چه امروزه آنها را با نوع پرصرفه تر و چند لوله‌ای به نام " ECONOMICS" جایگزین می‌نمایند. باید در نظر داشت که هر چه سطوح در معرض حرارت دیگ بخار زیادتر باشد مقدار حرارت جذب شده از مصرف مقدار معینی سوخت، یعنی بازده بازیافت حرارتی، بیشتر خواهد بود. برای این منظور تعداد بی‌شماری لوله‌های باریک که از آنها گازهای گرم جریان دارد و در داخل آب قرار دارند عامل ازدیاد سطوح گرم هستند و در عین حال نیازی به کانال گازهای گرم در پایین دیگ بخار و دو طرف آن نخواهد بود. این نوع دیگ‌ها یکپارچه می‌باشند. هر چه لوله‌ها بلندتر و باریک‌تر باشند، سطوح انتقال حرارت کارایی بیشتری خواهند داشت. این دیگ‌های چند لوله‌ای برای ظرفیت معینی، کم حجم‌تر از نمونه‌های پیشین خود هستند و نیازی به آجرکاری ندارند. این دیگ‌ها در کشتی‌ها و لوکوموتیوها که فضا نقش تعیین کننده دارد، کاربرد زیادی دارند. تعدادی از دیگ‌های اولیه کشتی‌ها جهت استفاده بیشتر از فضا، دارای سطح مقطع چهار گوش بودند که بر اثر پارگی گوشه‌ها، منجر به انفجارات شدید این دیگ‌ها گردید.

ظروف تحت فشار داخلی، تمایل دارند که به حالت کروی درآیند و بنابراین مکان‌های غیر کروی ظروف، تحت تنش شدید قرار دارند. نزدیک‌ترین شکل عملی و ممکن دیگ‌های بخار، به خصوص اگر انتهای دیگ‌ها گنبدی شکل باشد، استوانه است. طرحی ازدیگ استوانه‌ای در اوایل سال‌های ۱۸۰۰ به ثبت رسید که هدف آن تحمل فشار bar ۲۰۰ بود. در این طرح پیشنهاد شده بود که چنین استوانه ای باید از جنس مس و با ضخامت mm ۴۶ ساخته شود، ولی سابقه‌ای از ساخت این نوع دیگ در دست نیست. همچنین قرار بود این دیگ برون‌سوز باشد که به نوبه خود موجب مشکلاتی می‌گردید، ولی شکل کروی دیگ، برون‌سوز بودن دیگ را توجیه نمی‌کند. امروزه نیز با داشتن آلیاژهای فولادی مختلف، در سطح جهان یاز ساخت دیگ‌های لوله آتشی با ضخامت بیش از mm ۲۲ که در معرض آتش یا گازهای داغ باشد، خودداری می‌شود. این امر به منظور جلوگیری از تنش‌های حرارتی فوق العاده در فلز می‌باشد.

سرانجام همه دیگ‌های کشتی‌ها را استوانه‌ای ساختند ولی به علت محدودیت وزن و اندازه، از آجرکاری و ساخت کانال‌های جانبی خودداری گردید و از دیگ‌های چند لوله‌ای و کوره‌های درون‌سوز ـ تا چهار کوره ـ استفاده شد. گازهای داغ کوره‌ها وارد محفظه‌های جداگانه‌ای با دیواره‌های لوله ای در عقب کوره می‌گردید

و از آنجا با یک چرخش ۱۸۰ درجه وارد یکسری لوله‌های با قطر حدود ۷۵mm می‌شد. بعد از عبور از داخل این لوله‌ها، گازها وارد دودکش قیفی شکل می‌شدند. این دیگ‌های بخار را دیگ‌های بخار دوکاناله می‌نامیدند. بعدها دیگ‌های سه کاناله ساخته شد که در آن، گازها از طریق یکسری لوله‌های دیگر به قسمت عقب کوره بر می‌گشت. این دیگ‌ها را دیگ‌های اسکاچ دریایی می‌نامیدند که از سال‌های ۱۸۵۰ تا پیدایش موتورهای دیزل و جایگزینی آنها کاربرد داشتند.

به‌تدریج دیگ‌های اسکاچ را در خشکی به‌کار بردند و چون محدودیت جا نبود از آجرکاری نیز استفاده شد و آنها را بلندتر ساختند. این دیگ‌ها را در انگلستان به نام اقتصادی و در آمریکا هنوز به نام اسکاچ می‌شناسند. این دیگ‌ها به علت ارزان‌تر، با صرفه‌تر و کوچک‌تر بودن از دیگ‌های لانکاشیر تا اوایل سال‌های ۱۹۳۰ با آن به رقابت پرداختند. دیگ‌های اسکاچ فوق ابتدا دارای قسمت‌های عقبی عایق‌کاری شده بودند، ولی بعد از این دیواره‌ها را با دیواره‌های لوله آبی پوشاندند.

دیگ‌های سه کاناله اقتصادی دارای مشکل عمده ناشی از استفاده صفحه لوله مشترکی جهت کانال دوم و سوم بودند. گازهای ورودی به کانال دوم دارای دمای ۱۰۰۰°C بود که پس از خروج از کانال سوم تا ۲۵۰°C تقلیل می‌یافت. بنابراین، صفحه لوله در معرض دو اختلاف دمای شدید قرار داشت که باعث تنش و در نهایت نشتی انتهای لوله‌ها می‌شد.

در سال ۱۹۳۵ شرکت لینک لندر Ruston و Hornsby ساخت دیگ سه معبره جدیدی را بر اساس دیگ‌های سه کاناله دریایی اسکاچ به ثبت رساند. طرح جدید مشکل صفحه لوله‌های مشترک را که تحت دو اختلاف دمای زیاد قرار داشتند از طریق ایجاد صفحه لوله جداگانه برای هر یک از کانال‌ها، برطرف ساخت. دیواره‌های محفظه عقبی کوره با دیواره لوله آبی مجهز شد و دیواره جلویی، خروجی گازهای کوره و ورودی گازها به سری لوله‌های معبر دوم را تشکیل می‌داد. این دیواره لوله آبی در انتهای کوره دیگ بخار که به نام WET-BACK نیز نامیده می‌شد این مزیت را داشت که سطوح عایق‌کاری اتلاف حرارت را تبدیل به سطوح مفید و جاذب حرارت نمود.

گازهای کوره پس از عبور از جلوی دیگ بخار، در محفظه دود مقابل دیگ بخار، تغییر جهت داده و از طریق سری لوله‌های کانال سوم به قسمت عقبی دیگ وارد می‌شود. این سری لوله به صفحه لوله جداگانه‌ای در عقب دیگ بخار، متصل می‌گردند. صفحه لوله جلویی دیگ بخار، سری لوله‌های کانال دوم و ورودی‌های کانال سوم را در خود جای داده که بدین طریق مشکل اختلاف دما وجود ندارد زیرا دمای گازهای خروجی کانال دوم و ورودی کانال سوم تقریباً یکسان هستند. این ساختار جدید دیگ بخار امروزه در همه جا رواج دارد.

پیشرفت عمده دیگری نیز در آمریکا صورت گرفت، در زمان جنگ جهانی دوم نیاز شدیدی به تأمین بخار در تأسیسات جبهه‌ها احساس گردید و ضرروت داشت که

نصب و راه‌اندازی این دیگ‌ها در کم‌ترین زمان انجام شود. قبل از این، پوسته دیگ بخار با قطعات آتش‌کاری، تلمبه‌ها، شیرها و دمنده‌های تولیدکنندگان مختلف، در محل نصب، تجهیز می‌گردید ولی از این زمان به بعد دیگ بخار با همه این قطعات به‌صورت کامل و آماده به کار نصب می‌گردید. این نوع دیگ بخار را به نام پکیج یا یکپارچه می‌نامند و شامل دیگ بخار اسکاچ سه معبره و dry_back است که برروی یک پایه نصب شده است. پس از جنگ، این نوع دیگ‌های یکپارچه عمومیت یافتند و جزء دیگ‌های با ظرفیت بسیار بالای لوله آتشی، سایر دیگ‌ها را از این نوع ساختند.

دیگ‌های کوچک‌تر، مخصوص دیگ‌های آبگرمکن را از نوع شعله معکوس می‌سازند. کوره این دیگ‌ها فقط در یک طرف باز است و شعله مشعل در مرکز کوره به سمت عقب کوره که بسته است می‌تابد. گازهای حاصل از احتراق به‌صورت متحدالمرکز (concentric) در اطراف شعله به عقب برمی‌گردند. تنها کانال لوله‌های این کوره نیز به‌طور متحدالمرکز در اطراف کوره قرار گرفته است. چون این دیگ فقط یک کانال دارد، وسایلی جهت تشدید اغتشاش گازهای گرم در نظر گرفته شده که باعث افزایش انتقال حرارت و کاهش دمای گازهای خروجی می‌شوند.

ناحیه انتهایی کوره عملاً به علت بسته بودن آن و بالا بودن فشار، از نظر جریان گازها راکد و غیر فعال است. قابل ذکر است که طراحی مشعل به نحوی است که ایجاد شعله‌ای بلند، باریک و نفوذی می‌نماید. شعله‌ای کوتاه و چتری باعث کشیده شدن توسط گازهای گرم خروجی و ادامه احتراق در لوله‌های دیگ بخار است که منجر به افزایش دمای فلز در این نواحی می‌گردد.

بازده دیگ بخار لانکاشیر بر اساس ارزش گرمایی ناخالص سوخت و در شرایط مطلوب ۶۵٪ است، حال آنکه دیگ امروزی، با همان شرایط، ۸۰٪ بازدهی دارد. نتیجه این امر نشان دهنده حدود ۲۰٪ صرفه جویی در سوخت است.

فعالیت کارگاهی

یک دیگ بخار طراحی کنید که بخار آب را به ظرف سربسته دیگری انتقال دهد و در آن ظرف تبدیل به مایع شود.

پاسخ:

یک طرف دو قوطی کوچکی را سوراخ می‌کنیم و توسط لوله آلومینیومی یا مسی به هم وصل می‌کنیم در یکی از آنها آب ریخته و درب آن را محکم می‌بندیم و توسط شعله آن را گرم می‌کنیم تا به آب درون آن تبدیل به بخار تبدیل شود در حالی‌که قوطی دیگر را سرد کرده تا به محض ورود بخار تبدیل به مایع شود.

ارزشیابی مرحله‌ای

عنوان پودمان فصل	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره دهی)	نمره
نگهداری و تعمیر توربین بخار و گاز	نگهداری و تعمیر دیگ‌های بخار	نگهداری و تعمیر دیگ‌های بخار	بالاتر از حد انتظار	۱ـ عملکرد دیگ‌های را بررسی کند. ۲ـ یک دیگ بخار ساده را بسازد و راه اندازی کند. ۳ـ نکات زیست‌محیطی در رابطه با نگهداری و تعمیر دیگ بخار را رعایت کند. *هنرجو توانایی انجام همهٔ شاخص‌ها را داشته باشد.	۳
			در حد انتظار	۱ـ عملکرد دیگ‌های را بررسی کند. ۲ـ یک دیگ بخار ساده را بسازد و راه اندازی کند. ۳ـ نکات زیست‌محیطی در رابطه با نگهداری و تعمیر دیگ بخار را رعایت کند. *هنرجو توانایی انجام دو مورد از شاخص‌ها را داشته باشد.	۲
			پایین‌تر از انتظار	۱ـ عملکرد دیگ‌ها را بررسی کند. ۲ـ یک دیگ بخار ساده را بسازد و راه‌اندازی کند. ۳ـ نکات زیست‌محیطی در رابطه با نگهداری و تعمیر دیگ بخار را رعایت کند. * هنرجو توانایی انجام یک مورد از شاخص‌ها را داشته باشد.	۱
	نمرهٔ مستمر از ۵				
	نمرهٔ شایستگی پودمان از ۳				
	نمرهٔ پودمان از ۲۰				

نگهداری و تعمیر توربین‌های بخار دریایی

زمان آموزش	جمع :۲۵ساعت

اهداف جزئی واحدیادگیری:

ـ شایستگی‌های فنی:

۱ عملکرد توربین‌ها را بررسی کند.

۲ یک توربین بخار ساده را بسازد و راه اندازی کند.

ـ شایستگی‌های غیر فنی:

در محیط کارگاه و کلاس، رعایت نظم و ترتیب و نظافت‌کاری، کارگروهی، مسئولیت‌پذیری، توجه به محیط زیست و اخلاق حرفه‌ای را یاد بگیرد.

دانش افزایی

امکان استفاده از انرژی حرکت بخار برای به‌دست آوردن حرکت دورانی مدت‌ها پیش کشف شده است. کره گردنده که ۱۲۰ سال پیش از میلاد مسیح به‌وسیله (HERO) هرو در اسکندریه ساخته شد نخستین کوشش در راه استفاده از انرژی حرکت بخار برای ایجاد حرکت دورانی بود. یعنی این دانشمند در حدود ۲۰۰۰ سال پیش یک توربین کوچک بخار ساخت و چگونگی قدرت بخار را نشان داد. توربین هرو از یک کره توخالی که دارای چهار لوله خمیده بود تشکیل شده بود و این کره به گونه‌ای قرار داشت که می‌توانست بر روی لوله‌هائی که بخار را از دیگ حمل می‌کردند، حرکت دورانی کند.

ارشمیدس (Archimedes) فیزیکدان یونانی برای تبدیل انرژی حرارتی بخارآب به نیروی مکانیکی، دستگاهی نسبتاً ساده ساخت که از دیدگاه اصول اولیه هنوز دستگاهی کامل‌تر از آن ساخته نشده و اساس کار ماشین بخار امروزی نیز تقریباً همان است. البته با گذشت زمان، به لحاظ ظاهری و تکنیکی، تغییرات و پیشرفت‌های اساسی در توربین‌های بخاری انجام شده است که قابل مقایسه با توربین‌های اولیه نیست.

برای نخستین بار فردی ایتالیایی به نام جیووانی برانکا (Giovanni Branca)به فکر افتاد که بخارآب تحت فشار را با سرعت زیاد از سوراخ یک دهانه عبور دهد و از انرژی جنبشی آن استفاده کند. وی سرانجام درسال ۱۶۲۹ میلادی توانست چرخی را که در پیرامون آن چند پره نصب شده بود در برابر این دهانه قرار داده وآن را به گردش درآورد ولی به دلیل نداشتن وسیله کار و ماشین ابزاردقیق،

اختراع وی به مدت دویست سال به حال اولیه خود باقی ماند.
با پیشرفت علم درسال ۱۸۸۳ یک مهندس سوئدی به نام گوستاو دولاوال (Gustaf de Laval) موفق به ساخت نخستین توربین بخاری با یک طبقه گردید. سپس درسال ۱۸۸۴، چارلز پارسون (Charles Algernon Parsons) نخستین توربین عکس‌العملی را ساخت که کاهش فشار آن در چند طبقه پره(ها) صورت می‌گرفت و این امر باعث می‌شد تا مانع از سرعت زیاد بخار شود و در نتیجه سرعت زیاد گردش روتور توربین (مشکل توربین دولاوال) کم گردد. از آن پس روز به روز نقایص توربین برطرف شد و ساختمان آن کامل‌تر گردید.
در طول سالیان گذشته، ساختمان اصلی توربین به‌صورت ماشین‌های مختلف ارائه شده است. بنابراین توربین بخار یک ماشینی است که در اثر فشار بخار بر روی پره‌های آن می‌چرخد و خود باعث به گردش درآوردن دستگاه‌های دیگر می‌گردد.

تحقیق کنید

انواع توربین‌ها و طبقه بندی آنها را بررسی نمایید.

پاسخ:
انواع توربین‌ها اعم از توربین‌هایی که به‌عنوان محرک اصلی کشتی‌ها به‌کار می‌روند و یا توربین‌هایی که ماشین‌های کمکی را به حرکت در می‌آورند به پنج روش زیر طبقه‌بندی می‌شوند :

۱ طبقه‌بندی از لحاظ روشی که بخار روتور توربین را می‌گرداند. (ضربه‌ای یا عکس‌العملی)
۲ طبقه‌بندی از روی نوع طبقه و ترکیب سرعت و فشار بخار
۳ طبقه‌بندی از روی تقسیم جریان بخار
۴ طبقه‌بندی از روی جهت جریان بخار
۵ تکرار جریان بخار

روش دیگر تقسیم بندی توربین‌های بخار و معرفی آنها:
۱ـ Staging or Cylinder arrangemen
الف) Simple impluse: این نوع توربین شامل یک نازل و یک ردیف پره متحرک می‌باشد
ب) Velocity_ Compound: این نوع توربین شامل یک ردیف پره ثابت و یک ردیف پره متحرک می‌باشد.
پ) Pressure _ Compound: این نوع توربین شامل دو ردیف پره متحرک و یک ردیف نازل دیافراگم می‌باشد.

ت) Pressure ـ Velocity Compound: این نوع توربین ترکیبی از مدل ترکیب سرعت و ترکیب فشار می‌باشد و دارای دو مرحله است یکی مرحله فشار و دیگری مرحله سرعت می‌باشد.

۲ـ تقسیم جریان: Division of Flow

در این نوع توربین‌ها به گروه‌های زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱ـ گروه single flow: که در این نوع توربین‌ها جریان از یک طرف وارد و از طرف دیگر خارج می‌شود.

۲ـ گروه double flow: که در این گروه جریان از یک طرف وارد و از دو طرف خارج می‌شود.

۳ـ Compound flow :

این نوع توربین‌ها خود به چند دسته تقسیم می‌شوند:

الف) sepreat: دراین نوع توربین‌ها بخار برای چند مصرف‌کننده مختلف می‌رود.

ب)Tanden: دراین نوع توربین‌ها روی یک محور قرار گرفته‌اند.

پ)cross: دراین نوع توربین‌ها روی دو محور که به موازات هم هستند قرار گرفته‌اند.

ج)Tanden &cross: این نوع توربین ترکیبی از نوع ب و پ می‌باشد.

د)Vertical: دراین نوع توربین‌ها روی هم به شکل عمودی قرار گرفته‌اند.

۴ـ جهت جریان Direction of Flow :

توربین‌ها را می‌توان با توجه به روشی که بخار در آنها جریان می‌یابد طبقه‌بندی نمود.

سه روش جریانی که اینجا مورد نظر ما می‌باشند، عبارت‌اند از:

۱ جهت جریان بخار

۲ تکرار جریان بخار

۳ تقسیم جریان بخار

جهت جریان بخار در توربین‌ها ممکن است محوری، مارپیچی و یا شعاعی باشد. توربین‌های جریان مارپیچی بیشتر جهت به حرکت درآوردن ماشین‌های کمکی به‌کار می‌روند و توربین‌های جریان شعاعی مورد استفاده کمکی داشته و برای گرداندن پمپ‌های کوچک به کار می‌روند.

الف) توربین‌های با جریان محوری Axial Flow Turbines: بیشتر توربین‌های بخار (به‌خصوص توربین‌های با قدرت زیاد و توربین‌های با قدرت متوسط) از نوع جریانِ محوری می‌باشند. در این توربین‌ها هم چنان که از نام شان پیدا است بخار تقریباً در جهت موازی با روتور جریان می‌یابد. در این توربین‌ها تیغه‌ها روی لبه

بیرونی دیسک نصب می‌شوند. در صورتی که جهت جریان را بخواهیم عوض کنیم از Astern Element استفاده می‌کنیم که بخار توسط نازل وارد A.E شده و جهت جریان عوض می‌شود.

ب) توربین‌های جریان شعاعی Radial Flow Turbines: در این توربین‌ها تیغه‌ها عمود بر سطح فوقانی دیسک نصب شده و لذا جهت حرکت و جریان بخار عمود بر شافت خواهد بود. از این توربین به‌عنوان محرک پمپ‌ها استفاده می‌شود.

ج) توربین‌های با جریان مارپیچی Helical Flow Turbines: در توربین‌های با جریان مارپیچی (مماسی) بخار به‌شکل مارپیچ یا حلزونی جریان می‌یابد. اجزای چرخنده دارای یک چرخی است که این چرخ دارای سوراخ‌های نیم دایره‌ای می‌باشند و در محیط یا سطوح خارجی آن ایجاد شده است. شیپوره‌ها طوری روی محیط چرخ قرار گرفته‌اند که بخار از آنها در امتداد تقریباً مماس بر چرخ جاری می‌شود. یا طوری که بخار روی سوراخ‌های چرخ برخورد می‌کند. بدین ترتیب بخار یک ضربه چرخشی به چرخ می‌دهد و جهت جریان در داخل پره‌ها معکوس می‌شود و بخار را از طرف مقابل یعنی جایی که وارد پره شد به عقب فرستاده می‌شود.

د) توربین‌های با جریان مماسی: در توربین‌های با جریان مماسی ورودی بخار مماس بر محیط پره‌ها می‌باشد.

۵ـ تکرار جریان Repetition of Flow:

Single pass : جریان یکبار وارد می‌شود.

Single reentry: یک مرتبه مجدد وارد می‌شود.

Double reentry : دو مرتبه جریان بر می‌گردد.

۶ـ جهت چرخش: Direction motion

Single motion: روتور دریک جهت می‌چرخد.

Double motion: روتور در دو جهت می‌چرخد.

اصول کار توربین‌های ضربه‌ای و عکس‌العملی:

فرق اساسی بین این توربین‌ها در روشی است که بخار روتور توربین را می‌گرداند، وقتی که روتور توربین در اثر ضربه‌ای که ناشی از برخورد بخار با سرعت زیاد به پره‌هایی‌که در روی آن نصب شده‌اند می‌چرخد در این صورت توربین را ضربه‌ای می‌گویند و وقتی که روتور در اثر نیروی عکس‌العمل می‌چرخد توربین را عکس‌العملی گویند.

زاویه‌ای که تحت آن، بخار به پره‌های متحرک برخورد می‌کند و نیز شکل پره‌های متحرک، عوامل اصلی هستند که چرخیدن روتور را به وسیله یک ضربه مستقیم یا یک ضربه عکس‌العملی تعیین می‌کنند.

توربین‌های ضربه‌ای : Impulse Turbines

توربین‌های ضربه‌ای یا طبقات ضربه‌ای که ساختمان ساده‌ای دارند، عبارت از توربین‌های تک چرخانه‌ای یا چند چرخانه‌ای که پره‌های ضربه‌ای به آنها متصل می‌شوند. پره‌های ضربه‌ای را می‌توان از شکلشان تشخیص داد. این پره‌ها معمولاً متقارن‌اند و اندازهٔ زوایای ورودی و خروجی در آنها در حدود ۲۰ درجه است. در توربین‌های ضربه‌ای، بخار در شیپورهای ثابت منبسط می‌شود و در نتیجه فشار را از دست داده و سرعت می‌گیرد. در پره‌های متحرک، سرعت بخار کاسته می‌شود. در حالی‌که فشار آن ثابت می‌ماند. عملاً در یک توربین ضربه‌ای نیروی گرداننده روتور حاصل جمع نیروی ناشی از ضربه جهت بخار و به مقدار کمی نیروی عکس‌العملی می‌باشد. این نیروی عکس‌العملی در اثر تغییر جهت حرکت بخار به‌وسیله تیغه‌های منحنی به‌وجود می‌آید. تیغه‌های متحرک به‌عنوان شیپوره‌ها عمل نمی‌کنند.

به‌دلیل اینکه معمولاً در طبقات ورودی توربین بخار که فشار بالایی دارند از آنها استفاده می‌شود و چون در این طبقات حجم ویژه بخار کم است و مساحت سطح مقطع عبور جریان کوچک‌تری در مقایسه با طبقات فشار پایین مورد نیاز است، پره‌های ضربه‌ای کوتاه‌اند و مساحت سطح مقطع عبور جریان در آنها ثابت است. توربین پلتون نمونه‌ای از این توربین می‌باشد.

توربین ضربه‌ای تک طبقه: توربین ضربه‌ای تک طبقه که آن را با نام مخترعش توربین دولاوال نیز می‌نامند، شامل یک عدد چرخانه است که پره‌های ضربه‌ای به آن متصل می‌شوند. بخار از طریق یک یا چند عدد شیپوره همگرا- واگرا تغذیه می‌شود، این شیپوره‌ها تمام پیرامون چرخانه را در بر نمی‌گیرند و از این رو در هر لحظه تنها بخشی از پره‌ها با بخار مواجه می‌شوند. همچنین با بستن یک یا چند شیپوره می‌توان توربین را کنترل کرد.

توربین‌های ضربه‌ای مرکب سرعتی: این توربین‌ها برای اولین بار توسط کورتیس پیشنهاد شد تا مسائلی که هنگام استفاده از بخار با فشار و دمای بالا در توربین ضربه‌ای تک طبقه به‌وجود می‌آمدند، حل شوند. توربین کورتیس مانند توربین تک طبقه است که از یک مرحله شیپوره تشکیل می‌شود و به دنبال آن به جای یک ردیف پره متحرک، دو ردیف پره قرار می‌گیرند. این دو ردیف به وسیلهٔ یک ردیف پره ثابت که به پوسته توربین متصل هستند، از هم جدا می‌شوند. وظیفه پره‌های ثابت تنها هدایت بخار خروجی از ردیف اول پره‌های متحرک به ردیف دوم این پره‌ها است.

توربین ضربه‌ای مرکب فشاری: برای بر طرف کردن مسئله سرعت بالای پره در یک توربین ضربه‌ای تک طبقه، می‌توان کل افت آنتالپی را به آسانی و تقریباً

به تساوی بین شیپوره‌های چندین طبقهٔ ضربه‌ای که به‌طور متوالی قرار می‌گیرند، تقسیم کرد. چنین توربینی را به نام مخترعش توربین راتو می‌نامند.

توربین‌های عکس‌العملی REACTION TURBINES :

در توربین‌های عکس‌العملی، بخار از طریق یک ردیف پره‌های ثابت، وارد پره‌های متحرک می‌شود. بخار در ردیف پره‌های ثابت منبسط شده و به پره‌های متحرک هدایت می‌شود. پره‌های ثابت و پره‌های متحرک از نظر شکل خیلی شبیه هم هستند، عمل انبساط و تغییر جهت بخار در پره‌های ثابت و متحرک انجام می‌گیرد. در توربین واکنشی، فشار بخار در هر ردیف تیغه‌های ثابت و متحرک کاهش می‌یابد. یک توربین عکس‌العملی در اثر نیروهای زیر به حرکت در می‌آید:

۱ نیروی عکس‌العمل که هم زمان با افزایش سرعت بخار و انبساط آن در فضاهای نازل شکل بین تیغه‌ها بر روی تیغه‌های متحرک ایجاد می‌شود.

۲ نیروی عکس‌العمل که هنگام تغییر جهت بخار بر روی تیغه‌های متحرک به‌وجود می‌آید.

۳ فشار یا ضربه بخاری که با تیغه‌ها برخورد می‌کند.

از این رو همان‌طوری که قبلاً گفته شد توربین عکس‌العملی در ابتدا توسط نیروی عکس‌العملی به‌حرکت درآمده و همچنین از نیروی ضربه‌ای نیز تا اندازه‌ای استفاده می‌کند. طرز کار توربین‌های عکس‌العملی در اصل به وسیله پارسونز اختراع شد. این توربین از سه طبقه که هر کدام شامل یک ردیف پره ثابت و یک ردیف پره متحرک است، تشکیل می‌شود. پره‌های ثابت طوری طراحی می‌شوند که مجرای بین آنها به‌صورت یک شیپوره در می‌آید. پره‌های متحرک توربین عکس‌العملی از این جهت به آسانی از پره‌های متحرک توربین ضربه‌ای متمایزند که متقارن نیستند و چون مثل شیپوره عمل می‌کنند، شکلی همانند پره‌های ثابت دارند هرچند که انحنای آنها در جهت مخالف است. از جمله این توربین‌ها می‌توان به توربین‌های کاپلان و فرانسیس اشاره کرد.

توربین عکس‌العملی در مقایسه با توربین ضربه‌ای باید با سرعت بیشتری کار کند تا بتواند بازدهی مساوی با بازدهی توربین ضربه‌ای داشته باشد.

طبقه‌بندی توربین‌ها بر حسب طبقه (STAGE) و ترکیب آنها :

تا اینجا فرض بر این بود که یک طبقه توربین ضربه‌ای دارای یک سری نازل و یک ردیف تیغه بر روی روتور بوده و یک طبقه توربین عکس‌العملی یک ردیف تیغه‌های ثابت و یک ردیف تیغه‌های متحرک دارد. ولی ساختمان توربین‌های بخاری محرک به این سادگی نیستند. در این توربین‌ها از چندین ردیف تیغه که به طرق مختلف نصب شده‌اند استفاده شده است. مقدار انرژی حرارتی که می‌تواند در یک توربین مورد استفاده قرار گیرد به نسبت بین سرعت بخار ورودی (V_1) و سرعت تیغه‌های Vb بستگی دارد.

بنابراین ممکن است منطقی به نظر برسد که فکر کنیم با افزایش V_1 و Vbبه نسبت صحیح، کار گرفته شده از توربین نیز افزایش می‌یابد، ولی مسائل و مشکلات مربوط به مقاومت مصالح باعث ایجاد محدودیت‌هایی در سرعت تیغه‌ها می‌شود.
در ناوهای مدرن مقدار انرژی نهفته در هر پوند بخار به اندازه‌ای زیاد است که راه عملی برای استفاده از قسمت اعظم آن در یک ردیف از تیغه‌ها وجود ندارد. وقتی که از چندین ردیف تیغه مختلف استفاده می‌شود، بخار به‌ترتیب از یک ردیف به ردیف بعدی رفته در هر ردیف مقداری از انرژی آن مورد استفاده قرار می‌گیرد.

طبقه یا استیج در توربین ضربه‌ای: در یک توربین ضربه‌ای تعریف طبقه به‌طریق زیر است : یک طبقه شامل یک سری نازل و یک ردیف تیغه متحرک است. نظر به اینکه در توربین‌های ضربه‌ای فقط در نازل افت فشار صورت می‌گیرد لذا روش دیگر که می‌توان توربین ضربه‌ای را تعریف کرد این است که بگوییم این توربین شامل نازل‌ها و تیغه‌هایی است که در آن یک افت فشار صورت می‌گیرد که آن هم فقط در نازل می‌باشد. یک طبقه (استیج) توربین ضربه‌ای ساده را راتیو (RATEAU) می‌نامند.
از این نوع توربین به‌عنوان محرک اصلی ناو استفاده نمی‌شود ولی برای به‌کار انداختن دستگاه‌های کمکی کوچک مورد استفاده قرار می‌گیرد.

طبقه (استیج) در توربین عکس‌العملی: در توربین‌های عکس‌العملی یک ردیف تیغه ثابت و یک ردیف تیغه متحرک بعد از آن در یک طبقه قرار دارند نظر به اینکه در یک توربین عکس‌العملی تیغه‌های ثابت با نازل‌های توربین ضربه‌ای قابل مقایسه می‌باشند، لذا تعریف طبقه عکس‌العملی بسیار شبیه تعریف طبقه ضربه‌ای می‌باشد.
ولی بین آنها اختلاف اساسی زیر وجود دارد. یک توربین عکس‌العملی شامل دو مرحله افت فشار است، که این عمل در تیغه ثابت و متحرک صورت می‌گیرد. در حالی‌که در یک توربین ضربه‌ای فقط یک‌بار افت فشار صورت می‌گیرد.

توربین ضربه‌ای با ترکیب سرعت (Velocity Compounded Impulse Turbine): یکی از طرق افزایش بازدهی توربین ضربه‌ای ترکیب سرعت می‌باشدکه عبارت است از : اضافه‌کردن یک یا چند ردیف تیغه متحرک به روتور.
این توربین ضربه‌ای که روتور آن دارای دو ردیف پره متحرک که بر روی یک دیسک قرار گرفته است یک توربین ترکیب سرعت نامیده می‌شود. زیرا سرعت باقی مانده بخاری که اولین ردیف‌های متحرک را ترک می‌کند در دومین ردیف تیغه‌های متحرک مورد استفاده قرار می‌گیرد. تیغه‌های ثابتی که به‌جای وصل شدن به روتور به محفظه وصل می‌شوند برای هدایت بخار از یک ردیف تیغ متحرک به ردیف دیگر به‌کار می‌روند. توربین ضربه‌ای با ترکیب سرعت فقط دارای یک افت فشار می‌باشد.

بنابراین طبق تعریف دارای یک طبقه است این نوع توربین ضربه‌ای با ترکیب سرعت معمولاً یک طبقه کورتیس (Curtis stage) نامیده می‌شود.

توربین ضربه‌ای با ترکیب فشار و سرعت (Velocity ـ Pressure Compounded Impluse Turbine) : یک توربین ضربه‌ای که شامل یک طبقه کورتیس (Curtis) با ترکیب سرعت بوده و به‌دنبال آن چند سری طبقات (استیج‌های) راتیو (Rateau) ضربه‌ای با ترکیب فشار داشته باشد معمولاً به‌عنوان توربین ضربه‌ای با ترکیب فشار و سرعت شناخته می‌شود.

توربین‌های عکس‌العملی با ترکیب فشار (Pressure ـ Compouded Reaction Turbine): نظر به اینکه در توربین‌های عکس‌العملی سرعت تیغه‌ها نسبت به سرعت بخار ورودی (V_1) بسیار زیاد است. لذا تمام توربین‌های عکس‌العملی از نوع ترکیب فشار می‌باشند بدین مفهوم که این نوع توربین‌ها به طریقی ساخته شده‌اند که فشار از ورودی تا خروجی توسط ردیف متناوب تیغه‌های ثابت و متحرک کمتر شده و سبب‌کم شدن سرعت بخار در تمام طبقات می‌شود در نتیجه سرعت تیغه‌های توربین کم خواهد شد.

توربین مرکب ضربه‌ای و عکس‌العملی : در توربین‌های مرکب و عکس‌العملی از طبقه ضربه‌ای و سرعت (CURTIS) کورتیس در قسمت فشار زیاد استفاده شده و بعد از آنها طبقه ضربه‌ای و سپس تیغه‌های عکس‌العملی قرار دارند. در ابتدا تیغه‌های ضربه‌ای باعث افت فشار و درجه حرارت زیادی شده و انرژی حرارتی زیادی را مورد استفاده قرار می‌دهند.
تیغه‌های عکس‌العملی در قسمت فشار کم توربین بازدهی بیشتری دارند. بنابراین ترکیب توربین ضربه‌ای و عکس‌العملی یک دستگاه بازدهی زیاد را تشکیل می‌دهد، که هم از مزایای تیغه‌های ضربه‌ای و هم از مزایای تیغه‌های عکس‌العملی استفاده می‌کند.
توربین‌های مرکب ضربه‌ای و عکس‌العملی به‌طور متداول به عنوان توربین‌های محرک اصلی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

تحقیق کنید

بررسی کنید هریک از اجزای توربین بخار چه ویژگی و کاربردی دارند.

پاسخ:
پایه‌های (فونداسیون) توربین: پایه‌های توربین‌های محرک از اجزای مقاوم بدنه ناو ساخته شده است. به‌طوری که یک تکیه گاه مقاوم ثابت به‌وجود می‌آورند. قسمت عقب توربین به پایه وصل شده است. قسمت جلوی توربین طوری وصل

شده است که توربین دارای حرکت محوری بسیار کمی جهت انقباض و انبساط ناشی از تغییرات درجه حرارت باشد.

محفظه توربین : محفظه‌های توربین‌های محرک به‌طور افقی تقسیم شده‌اند تا بتوانند برای بازدید و تعمیر و نگهداری داخل آن دسترسی پیدا کرد. اتصالات فلنجی محفظه به‌طور دقیق تراشیده شده‌اند تا یک اتصال فلز به فلز مناسب به‌وجود آورند. این فلنج‌ها به‌وسیله پیچ و مهره به یکدیگر وصل می‌شوند. برخی از محفظه‌های توربین‌های فشار زیاد برای سهولت در ساختن، به‌ویژه هنگامی که آلیاژهای مختلفی در قسمت ورودی (با درجه حرارت زیاد) و قسمت خروجی (با درجه حرارت کم) باید به‌کار روند، به‌صورت اتصالات جداگانه عمودی ساخته می‌شوند. ولی این اتصالات عمودی از یکدیگر جدا نمی‌شوند و به‌وسیله جوش به یکدیگر متصل شده‌اند.

هر محفظه دارای یک اطاقک بخار برای دریافت بخار ورودی بوده و آن را تیغه‌ها یا نازل‌های طبقه اول هدایت می‌کنند. اطاقک تخلیه، بخار را از آخرین ردیف تیغه‌های متحرک دریافت کرده و آن را به اتصال تخلیه می‌فرستد. سوراخ‌های روی محفظه برای نصب اتصالات تخلیه، اتصالات میان گذر بخار و گیج‌های فشار، ترمومترها و والوهای اطمینان به‌کار می‌روند.

نازل‌ها Nozzles : کار اصلی نازل تبدیل انرژی حرارتی بخار به انرژی جنبشی مکانیکی بوده است. کار ثانویه آن هدایت بخار به تیغه‌های توربین می‌باشد. برخی از این توربین‌ها دارای تیغه‌های کاملاً قوسی شکل می‌باشند. در این نوع توربین‌ها نازل‌های طبقه اول در اطراف تیغه‌های ردیف اول قرار گرفته‌اند. تیغه‌های برخی دیگر از توربین‌ها تا اندازه‌ای قوسی است. در این حالت فقط یک قسمت از دایره تیغه‌ها توسط نازل‌ها پوشیده می‌شود، به‌طور کلی طرز قرار گرفتن نازل‌ها در هر توربین به شرایط محدود قدرت و برخی از عوامل طراحی بستگی دارد. هر نازل به اصطلاح به منزله یک روزنه یا یک مسیر عبور برای بخار محسوب می‌شود. بنابراین وقتی که ما درباره ساختمان یا ترتیب قرار گرفتن نازل بحث می‌کنیم در حقیقت مقصودمان ساختمان یا طرز قرار گرفتن بلوک‌هایی است که روزنه‌ها در آن قرار دارند. در اکثر توربین‌های مدرن بلوک‌های نازل طوری قرار گرفته‌اند که روزنه‌های نازل‌ها به صورت گروهی است و هر گروه به‌وسیله یک والو کنترل جداگانه کنترل می‌شود. از این رو مقدار بخاری که وارد اولین طبقه توربین می‌شود تابعی از تعداد نازل‌های در حال کار و اختلاف فشار موجود در هر نازل می‌باشد.

در برخی از ناوهای کوچک از والو کنترل دستی نازل به همراه والو کنترل بخار ورودی به توربین استفاده می‌شود هرگونه کاهش بخار ورودی باعث کاهش بازده می‌شود و برای جلوگیری از کاهش بخار باید کلیه والوهای کنترل نازل قبل از

اینکه تحرک باز شود، باز شده باشند. سرعت به‌وسیله باز و بسته کردن تعداد والوهای نازلی که باز هستند کنترل می‌شود. تغییر دادن والوهای نازل توسط مکانیزم میله بالابر انجام می‌شود. مکانیزم میله بالابر از یک میله فولادی سوراخ‌دار که بر روی میله‌های والوهای نازل قرار می‌گیرد تشکیل شده است. طول میله‌های والو متفاوت بوده و در قسمت بالایی آنها یک شانه نصب شده است. وقتی که این میله به‌طرف پایین می‌آید کلیه والوها بسته می‌شوند. وقتی که میله به طرف بالا می‌رود والوها بستگی به‌طول میله خود (اول میله کوتاه‌تر سپس میله بلندتر) یکی پس از دیگری باز می‌شوند.

دیافراگم نازل: دیافراگم‌های نازل به‌عنوان قسمتی از هر یک از طبقات (استیج‌های) توربین ضربه‌ای با فشار مرکب نصب شده‌اند. دیافراگم‌ها برای نگهداری نازل‌های هر طبقه به‌کار می‌روند. دیواره‌های نازل تراشیده و براق شده است نازل‌ها در رینگ داخلی یک صفحه فولادی قرار گرفته‌اند.
رینگ خارجی بر روی قسمت خارجی نازل‌ها قرار می‌گیرد، سپس این مجموعه را به‌وسیله جوشکاری به یکدیگر وصل می‌کنند. به منظور جلوگیری از نشت بخار از پکینگ‌های لابرنیت در بین سوراخ داخلی و خارجی دیافراگم و روتور استفاده می‌شود.

روتورهای توربین: روتور توربین تیغه‌های متحرکی را که بخار با آنها برخورد می‌کند، حمل می‌کند در برخی از توربین‌های قدیمی روتورها به‌طور جداگانه آهنگری و ماشین‌کاری شده و سپس روی شافت پرس می‌شدند و به‌وسیله خار بر روی شافت محکم قرار می‌گرفتند. در بیشتر توربین‌های مدرن به‌خصوص توربین‌های بزرگی که برای دستگاه محرکه ناو به‌کار می‌روند روتور به طور یک جا با شافت ریخته‌گری شده است.

تیغه‌های توربین: متحرک به‌طور ثابت و محکم به روتور توربین وصل شده‌اند.
یاتاقان‌های توربین: یاتاقان‌ها به‌عنوان پایه‌ای که جزء متحرک را تحمل می‌کند در توربین‌ها به‌کار می‌روند. در این قسمت ما در مورد یاتاقان‌هایی بحث می‌کنیم که به‌عنوان نگهدارنده شافت متحرک به‌کار می‌روند. این یاتاقان‌ها از نظر نحوه کار به دو دسته تقسیم می‌شوند:
الف) یاتاقان‌های کف گرد (تراست بیرینگ)
ب) یاتاقان‌های شعاعی (ژورنال بیرینگ)

یاتاقان‌های کف‌گرد : به‌طور کلی برای جلوگیری از حرکات محوری روتور توربین‌ها از یا تاقان‌های کف‌گرد Thrust Bearing استفاده می‌شود. این یاتاقان‌ها از دو نیمه بالایی و پایینی تشکیل شده است که این دو نیمه معمولاً به‌وسیله خار به هم وصل

می‌شوند. در ضمن نیمه پایینی به‌وسیله خار در جایگاه بیرینگ وصل شده است تا به این وسیله از حرکت آن جلوگیری شود.
یاتاقان‌های کف گرد توربین‌های فشار زیاد و فشار کم از نظر ساختمان مثل هم دیگر هستند و تنها فرق در اندازه آنهاست.
یاتاقان‌های کف گرد توربین‌های فشار زیاد و فشار کم از نوع کفشکی Kings Burry می‌باشد. این نوع یاتاقان‌ها دارای شش کفشک می‌باشند که تمام سطح آنها از آلیاژ بابیت پوشانده شده است. پشت هر کفشک یک نگه دارنده روی یک صفحه هم سطح کننده قرار دارد که این صفحه هم سطح‌کننده خود روی دو صفحه هم سطح‌کننده دیگر قرار می‌گیرد مشخصات یاتاقان‌های کف گرد (کفشکی) در این است که یک شافت (روتور) در حالت ایستاده می‌باشد که در این حالت کفشک‌ها و صفحه‌های هم سطح کننده با یک حالت خاص و منظم در کنار هم قرار گرفته‌اند و در ضمن یک لایه منظم روغن مابین کفشک‌ها و گلوگاه یاتاقان دیگر به صورت یک لایه منظم نیست یاتاقان کف گرد در قسمتی از توربین‌ها که فشار و درجه حرارت در آنجا کم می‌باشد استفاده می‌شود.

یاتاقان‌های شعاعی Radial Bearings: به‌طور کلی یاتاقان‌های شعاعی (طوقه‌ای) به این منظور بر روی روتور توربین‌ها قرار می‌گیرند که از حرکات عمودی روتور جلوگیری کنند. یاتاقان‌های شعاعی به‌طور معمول از دو قسمت بالایی و پایینی تشکیل شده‌اند که آنها به‌طور افقی به‌وسیله پین به جایگاه یاتاقان وصل می‌شوند. وصل شدن قسمت پایینی به جایگاه یاتاقان به‌وسیله پین به‌منظور ثابت نگه داشتن یاتاقان است.
برای روغن‌کاری یاتاقان یک منفذ در قسمت نیمه فوقانی برای ورود روغن در نظر گرفته شده است. توربین‌های فشار زیاد و فشار کم ناو هر کدام دارای دوعدد یاتاقان شعاعی (طوقه‌ای) می‌باشند و از نظر جنس و کار مورد نظر یاتاقان‌های شعاعی توربین فشار زیاد و فشار کم فرقی با هم ندارند به‌جزء اندازه آنها که با هم فرق دارند.
طریقه روغن کاری یاتاقان‌های شعاعی توربین‌های اصلی بسیار ساده است روغن از منفذ ورودی نیمه بالایی وارد شده، پس از روغن‌کاری تمام سطوح یاتاقان از قسمت تحتانی نیمه پایینی و از راه یک منفذ مارپیچی از یاتاقان خارج شده و در داخل جایگاه یاتاقان به‌وسیله روتور توربین از رینگ آب‌بندی روغن یاتاقان استفاده می‌شود این رینگ از آلیاژ ضد زنگ به‌صورت دو نیمه بالایی و پایینی ساخته شده است. یاتاقان‌های شعاعی در قسمتی از توربین‌ها که فشار و درجه حرارت زیاد می‌باشد استفاده می‌شوند.

چرخ‌دنده‌های کاهنده Reduction gears : چرخ‌دنده‌ها مکانیزمی هستند که شافت توربین‌ها را به هم مرتبط می‌سازند و نحوه قرار گرفتن آنها طوری است که سرعت‌های مختلف و زیاد شافت توربین‌های فشار زیاد و کم را ترکیب، تبدیل و کاهش داده و به شافت محرک اصلی پروانه منتقل می‌کنند.
سرعت زیاد باعث می‌شود که مقدار زیادی از انرژی به‌جای جلو راندن شناور صرف به هم زدن آب شود بنابراین می‌توان سرعت توربین‌ها را به اندازه دلخواه به‌وسیله چرخ‌دنده‌ها کاهنده کاهش داده و راندمان لازم را کسب نمود.

چرخ‌دنده‌های کاهنده اصلی: تمام چرخ‌دنده‌های کاهنده در ناوهای جنگی موجود دارای چرخ‌دنده‌های مارپیچی دوبل هستند. استفاده از این نوع چرخ‌دنده‌ها باعث نرمی کار چرخ‌دنده‌های کاهنده می‌شود و از ضربه‌های وارده به دندانه‌ها جلوگیری می‌شود.
چون چرخ‌دنده مارپیچی دوبل دارای دو ردیف دندانه که زوایای آنها مکمل یکدیگرند می‌باشد فشار محوری موجود که در چرخ‌دنده‌های مارپیچی تکی وجود داشته دیگر در این نوع چرخ‌دنده به‌وجود نمی‌آید. چرخ‌دنده‌های مارپیچی دوبل به‌دلیل عدم فشار محوری می‌توان در اندازه‌های بزرگ ساخت. چرخ‌دنده‌های مارپیچی که دارای زوایای مارپیچ بزرگ ولی دندانه‌های ریز هستند راحت‌تر و نرم‌تر از چرخ‌دنده‌های مارپیچی که دارای زوایای کوچک و دندانه‌های بزرگ هستند می‌چرخند.

چرخ‌دنده گرداننده (Turning gear): برای حفظ و نگهداری چرخ‌دنده‌های کاهنده و توربین‌های اصلی معمولاً سیستم گرداننده دستی و الکتریکی در ناوها به‌کار می‌برند و این سیستم بیشتر به‌خاطر آن است که اگر بخواهیم توربین‌ها را در مواقع به‌کارگیری گرم کنیم و یا اینکه حرارت آنها را بعد از خاموش کردن کم کنیم قادر به انجام این کار باشیم، گاهی اتفاق می‌افتد که پروانه ناو باید در سکون کامل باشد و برای اطمینان از اینکه پروانه نمی‌گردد این مکانیزم بهترین وسیله‌ای است که می‌تواند به ما کمک نماید و مانند یک ترمز عمل کند.
این دستگاه می‌تواند به‌وسیله کلاچ دندان گرگی با اهرم روی قسمت انتهایی چرخ‌دنده کاهنده باز و بسته شود و یا انتهای پینیون کاهنده مرحله اول توربین فشار زیاد درگیر می‌گردد. چرخ‌دنده بالا به‌وسیله موتور الکتریکی کوچکی کار می‌کند و پس از درگیر شدن با پینیون توربین فشار قوی قادر است کلیه چرخ‌دنده‌های کاهنده و توربین‌ها را بگرداند. ۱۵ دقیقه طول می‌کشد که چرخ‌دنده بالا برنده شافت اصلی را $۱\frac{۱}{۴}$ دور بگرداند. در ضمن از چرخ‌دنده گرداننده در بازدیدهای روزانه توربین‌ها و چرخ‌دنده کاهنده نیز استفاده می‌شود مانند بازدید از دندانه‌های چرخ‌دنده و بازدیدی از پره‌های توربین‌ها.

گلندهای شافت Shaft Glands : گلندهای شافت برای به حداقل رساندن نشت بخار در محفظه بخار (یا نشت هوا به محفظه) در نقاطی که شافت از محفظه خارج شده به‌کار برده می‌شود. در گلندهای شافت دو نوع پکینگ مورد استفاده قرار می‌گیرند که عبارت‌اند از پکینگ کربنی و پکینگ فلزی (لابرنیتی) پکینگ کربنی فقط برای قشارها و درجه حرارت‌های کم مناسب می‌باشد.
وقتی که هر دو پکینگ در یک گلند به‌کار برده شوند، پکینگ لابرنیتی در ناحیه فشار زیاد و پکینگ کربنی در قسمت فشار کم نصب می‌شوند. نظر به اینکه اکثر ناوهای مدرن از فشارها و درجه حرارت زیاد استفاده می‌کنند لذا بیشتر توربین‌های محرک فقط دارای پکینگ فلزی (لابرنیتی) هستند. پکینگ لابرنیتی از دو ردیف نوار یا پرده فلزی تشکیل شده است. این نوارها طوری به لایه داخلی گلند متصل شده‌اند که فاصله مجاز بسیار کمی بین نوارها و شافت به‌وجود می‌آورند.
وقتی که بخار از توربین به نقاط کوچک نوارهای پکینگ شافت نشست می‌کند فشار بخار به‌تدریج کاهش می‌یابد. هرجا که نوارهای پکینگ کربنی مورد استفاده قرار گیرد مانند نقاطی که از پکینگ لابرنیتی استفاده شده عبور بخار در امتداد شافت محدود می‌شود رینگ‌های پکینگ کربنی در اطراف شافت نصب شده به‌وسیله فنر در محل خود نگهداری می‌شوند. به‌طور کلی در هر گلند سه یا چهار رینگ به‌کار رفته و هر رینگ نیز در قسمت جداگانه از محفظه گلند قرار گرفته است.

سیستم آب‌بندی گلند Gland Sealing Systems: در توربین‌های محرک پکینگ و گلند شافت نمی‌توانند به‌طور کامل جریان بخار را به خارج از توربین متوقف ساخته و یا کاملاً از جریان یافتن هوا به داخل توربین جلوگیری نماید. به همین جهت از بخار برای آب‌بندی توربین استفاده می‌شود. فشار بخار آب‌بندی کننده در هنگام ورود گلند در حدود ۲psi می‌باشد و وقتی که فشار بخار آب‌بندی‌کننده گلند از فشار داخل محفظه توربین بیشتر شد بخار آب‌بندی کننده هم به محفظه و هم به لوله‌ای که به کندانسر خروجی گلند منتهی می‌شود جریان یافته و هوا را از توربین به خارج می‌راند. وقتی که یک توربین فشار بالا با سرعت زیادی در حال کار کردن باشد فشار بخاری که از پکینگ گلند شافت نشت می‌کند کمی بیشتر از فشار بخار آب‌بندی‌کننده گلند می‌باشد. وقتی که این حالت اتفاق می‌افتد جهت جریان بخار آب‌بندی‌کننده گلند معکوس خواهد شد. در چنین مواقعی لوله بخار آب‌بندی‌کننده بسته شده بخار اضافی از طریق اتصال نشت‌کننده گلند به طبقه بعدی توربین و به کندانسر تخلیه گلند و یا به گلندهای دیگر به‌عنوان بخار آب‌بندی کننده گلند جریان می‌یابد. بخار اضافی که از پکینگ لابرنیتی نشت کرده به‌طبقات هشتم و دوازدهم توربین فشار زیاد برگشت داده می‌شود.

سیلندرها و پیستون‌های دامی (Dummy piston and cylinder): بخاری که از توربین ضربه‌ای چند طبقه عبور می‌کند نیروی محوری زیادی به روتور توربین منتقل نمی‌کند، زیرا افت فشار در نازل‌ها صورت می‌گیرد ولی در توربین عکس‌العملی به‌علت افت فشار در تیغه‌های ثابت و متحرک نیروی محوری زیاد تولید می‌گردد. در توربین‌های عکس‌العملی با جریان منفرد این نیروی محوری تا اندازه‌ای در اثر استفاده از پیستون سیلندر دامی (Dummy) خنثی می‌شود. در توربین‌های عکس‌العملی با جریان دوتایی نیازی به پیستون‌ها و سیلندرهای دامی (Dummy) نیست زیرا نیروی محوری که به‌وسیله فشار در یک تیغه توربین ایجاد می‌شود توسط نیروی مساوی و متقابلی که در نیمه دیگر آن به وجود می‌آید خنثی خواهد شد.

کاپلینگ‌های قابل ارتجاع FLEXIABLE COUPLING: شافت توربین محرک به‌وسیله کوپلینگ‌های قابل ارتجاع که برای برقراری حالت تراز بین دو دستگاه به‌کار می‌روند به جعبه دنده (چرخ‌دنده‌های کاهنده) وصل شده است

سیستم روان‌سازی LUBRICATION SYSTEM: روان‌سازی خوب جهت دنده‌های کاهنده بسیار مهم می‌باشد. روغن تحت فشار و درجه حرارت طرح شده، جهت روغن‌کاری دنده‌ها در تمام اوقات بایستی انجام شود، خواه دنده در حال گردش خواه بدون بار باشد. برای روان سازی چرخ‌دنده‌های کاهنده از روغن ۲۱۹TEP استفاده می‌شود که جهت توربین به کار می‌رود. روغن خالص و تمیز جهت طول عمر و کار عالی دنده‌ها ضروری است. روغن بایستی از تمام ناخالصی‌ها خصوصاً ناپاکی‌هایی مثل آب، رسوبات، سنگ ریزه و براده فلزات به دور باشد. چون دنده‌ها در داخل فیت کار در حال سائیدگی می‌باشد، به منظور جدا کردن براده‌های کوچک و ذرات فلزی مراقبت به خصوصی لازم می‌باشد. هرگز دستگاه‌های روغن‌کاری را بدون اجازه دست کاری نکنید. ذرات فلزی کوچکی را که نمی‌توان به‌وسیله آهن‌ربا از صافی‌های روغن کاری و روان ساز بیرون کشید، ممکن است وارد یاتاقان‌های بابیتی شده، حتی روی ژورنال‌ها خط بیاندازد، که به علاوه مخلوط شدن رسوبات با ذرات فلز ممکن است سطوح دندانه‌های دنده را بساید. راه حل این مسئله نظافت و استفاده از روغن تصفیه شده می‌باشد.

روغن توربین یک روانکار از دسته روغن‌های گردشی است که باید دارای خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ویژه‌ای برای انجام وظایف مورد نظر در توربین باشد. این وظایف عبارت‌اند از:

۱ روانکاری یاتاقان‌ها، چرخ‌دنده‌ها وکوپلینگ‌ها.
۲ انتقال حرارت و خنک‌کاری در یاتاقان‌ها.
۳ عملکرد مناسب هیدرولیکی.

۴ محافظت از زنگ زدگی و سایش.

برای انجام این وظایف در توربین، روغن توربین باید دارای خواص فیزیکی و شیمیایی ویژه‌ای باشد تا بتواند برای مدت طولانی در شرایط مناسب در توربین کار کند. این خصوصیات عبارت‌اند از:

۱ جلوگیری از اکسیداسیون؛

۲ جلوگیری از خوردگی و سایش؛

۳ جداپذیری از آب و هوا؛

۴ جلوگیری از کف کردن.

شافت محرک PROPULSION SHAFT: این شافت نوعی وسیله انتقال انرژی مکانیکی است که انرژی را از محرکه اولیه (توربین) به پروانه و همچنین نیروی عکس‌العمل حاصله را از پروانه به یاتاقان کف گرد منتقل می‌کند که این نیرو از آنجا به بدنه ناو هدایت می‌شود.

تقسیم‌بندی شافت محرک: هر شافت از نظر عمل به چهار قسمت تقسیم می‌شود:

الف) شافت ضربه‌گیر (تراست شافت)

ب) شافت میانی (لین شافت)

ج) شافت لوله عقبی (استرن تیوب شافت)

د) شافت انتهایی (دم شافت)

قطعات شافت میانی، شافت ضربه‌گیر و شافت لوله عقب با چند کاپلینگ فلنجی مناسب به یکدیگر وصل شده‌اند، شافت لوله عقب به انتهای شافت میانی توسط یک کاپلینگ شافت لوله عقبی که دارای فلنج ضربه‌گیر سوار شدنی می‌باشد وصل شده است دم شافت به شافت لوله عقبی توسط یک کاپلینگ که خارج بدنه ناو قرار گرفته متصل شده است.

گلندسیل‌ها (labyrinth packing): جهت جلوگیری از خروج بخار از محل شافت و پوسته از این مکانیزم استفاده می‌شود و به دو گروه تقسیم می‌شوند بخار هنگام برخورد به labyrinth packing میزان فشار را تا حد زیادی کاهش می‌دهد به‌نحوی که در انتها با یک بخار فشار پایین مواجه هستیم جهت جلوگیری از خروج این بخار از بخار فشار پایین دی سوپر هیت استفاده می‌شود این بخار فشار پایین اجازه خروج بخار را از محل لبرینت پکینگ‌ها نمی‌دهد.

انواع لبرینت پکینگ:

۱ single

۲ Double

ارزشیابی مرحله‌ای

عنوان فصل	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره دهی)	نمره
نگهداری و تعمیر توربین بخار و گاز	نگهداری و تعمیر توربین‌های بخار دریایی	نگهداری و تعمیر توربین‌های بخار دریایی	بالاتر از حد انتظار	۱ـ عملکرد توربین‌ها را بررسی کند. ۲ـ یک توربین بخار ساده را بسازد و راه‌اندازی کند. ۳ـ نکات زیست‌محیطی در رابطه با نگهداری و تعمیر توربین‌ها را رعایت کند. *هنرجو توانایی انجام همهٔ شاخص‌ها را داشته باشد.	۳
			در حد انتظار	۱ـ عملکرد توربین گاز را بررسی کند. ۲ـ یک توربین گاز ساده را بسازد و راه‌اندازی کند. ۳ـ نکات زیست‌محیطی در رابطه با نگهداری و تعمیر توربین گاز رعایت کند. *هنرجو توانایی انجام دو مورد از شاخص‌ها را داشته باشد.	۲
			پایین‌تر از انتظار	۱ـ عملکرد توربین گاز را بررسی کند. ۲ـ یک توربین گاز ساده را بسازد و راه‌اندازی کند. ۳ـ نکات زیست‌محیطی در رابطه با نگهداری و تعمیر توربین گاز رعایت کند. *هنرجو توانایی انجام یک مورد از شاخص‌ها را داشته باشد.	۱
	نمرهٔ مستمر از ۵				
	نمرهٔ شایستگی پودمان از ۳				
	نمرهٔ پودمان از ۲۰				

نگهداری و تعمیر توربین گاز

زمان آموزش	جمع :۱۵ساعت

اهداف جزیی واحدیادگیری:

ـ شایستگی‌های فنی:

۱ عملکرد توربین گاز را بررسی کند.

۲ یک توربین گاز ساده را بسازد و راه‌اندازی کند.

ـ شایستگی‌های غیر فنی:

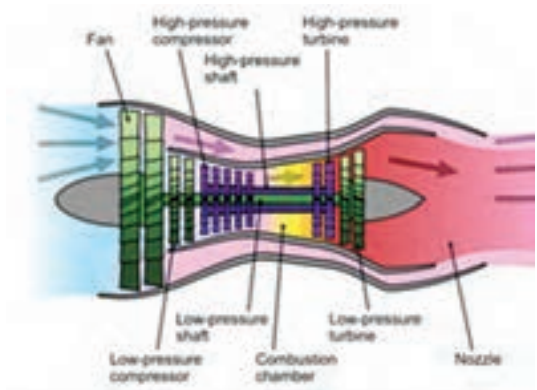
۱ در محیط کارگاه وکلاس، رعایت نظم و ترتیب و نظافت کاری، کارگروهی، مسئولیت‌پذیری، توجه به محیط زیست و اخلاق حرفه‌ای را یاد بگیرد.

۲ با استفاده از روش فناورانه و توسط اینترنت این واحد را یاد گیرد.

دانش افزایی

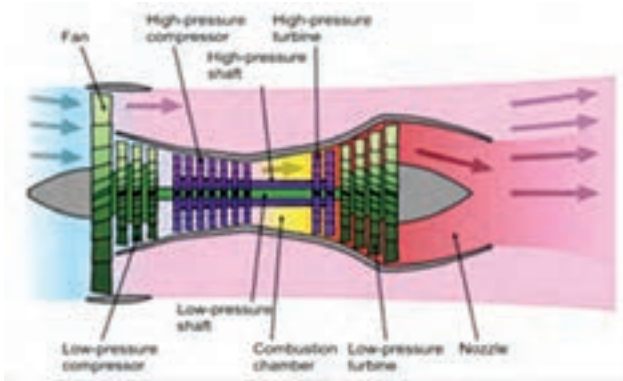
انواع موتورهای جت توربینی

توربوفن: بسیاری از هواپیماهای مسافربری مدرن از موتورهای توربوفن استفاده می‌کنند به‌خاطر اینکه آنها بازده بیشتری نسبت به‌مصرف سوخت دارند. اگر میزان مصرف سوخت یک توربوجت با تورفن و میزان تراست تولیدی آنها را مقایسه کنید می‌بینید که توربوفن با همان میزان مصرف سوخت، مقدار تراست خیلی بیشتری تولید می‌کند. یک موتور توربوفن شکل تغییریافته و پیشرفتهٔ یک موتورتوربین گازی ساده است. همانند سایر موتورهای جت، توربوفن هم دارای هستهٔ موتوری توربوجت است.در یک توربوفن مرکز موتور توسط یک فن در جلو و توربین اضافی در کنار آن احاطه شده است. فن و توربین فن از تعدا د زیادی تیغه همانندکمپرسوروتوربین هسته تشکیل شده‌اندکه به یک شفت اضافی متصل‌اند. شفتی که به فن متصل است از وسط هستهٔ شفت مرکزی عبور می‌کند و به این صورت اگر موتور دارای سه شفت باشد، فن جلویی به درونی‌ترین شفت و آن نیز به آخرین مرحلهٔ توربین در انتهای موتور (مرکز) متصل‌است.



نمونه یک توربوفن با گذرگاه جانبی

توربوفن‌ها به دو دسته شامل توربوفن با نسبت گذرگاهی پایین و با نسبت گذرگاهی بالا تقسیم می‌شوند. دستهٔ اول نسبتاً کوچک‌تر هستند و مقداری بیشتر از یک توربوجت، تراست تولید می‌کنند ولی توربوفن با نسبت گذرگاهی بالا، تراست خیلی بیشتری تولید می‌کنند و نسبت به مصرف سوخت کارآمدتر هستند و صدای کمتری تولید می‌کنند. اصلی‌ترین هدف و وظیفهٔ فن راندن مقدار زیادی هوا از میان گذرگاه خارجی است که از اطراف هستهٔ موتور می‌گذرد. با اینکه در این گذرگاه جانبی جریان هوا با سرعت خیلی کمتری جریان می‌یابد، ولی حجم بالایی از هوا با این فن شتاب و سرعت می‌گیرند و این فن، به غیر از تراستی که هستهٔ توربوجت دارد، تراست مهم و عمده‌ای را بدون سوزاندن هیچ سوخت اضافی تولید می‌کند. بدین‌گونه توربوفن نسبت به توربوجت استفادهٔ بیشتری از سوخت می‌کند، در نتیجه بازده آن بیشتر از توربوجت است. در حقیقت موتورهای توربوفن با نسبت گذرگاهی بالا در بازدهی تقریباً با توربوپراپ برابر هستند. به علاوه، هوای کم سرعت باعث لایه‌گذاری صدای مرکز موتور می‌شود و موتور را کم صداتر می‌کند. فن به دلیل اینکه در میان داکت یا مجرای ورودی قرار گرفته است و از تعداد زیادی پره تشکیل شده است می‌تواند به‌طور کارآمد با سرعتی بیشتر از یک ملخ ساده کار کند. به همین دلیل توربوفن‌ها در نقل و انتقالات پر سرعت به کار می‌روند ولی ملخ دارها در نقل و انتقالات سرعت پایین به‌کار می‌روند. تعداد زیادی از هواپیماهای جنگنده از موتورهای توربوفن با نسبت گذرگاهی پایین مجهز شده به پس سوز استفاده می‌کنند. آنها می‌توانند به‌طور کارآمد به گشت زنی بپردازند و در جنگ‌های هوایی نیز، تراست خیلی بالایی دارند.



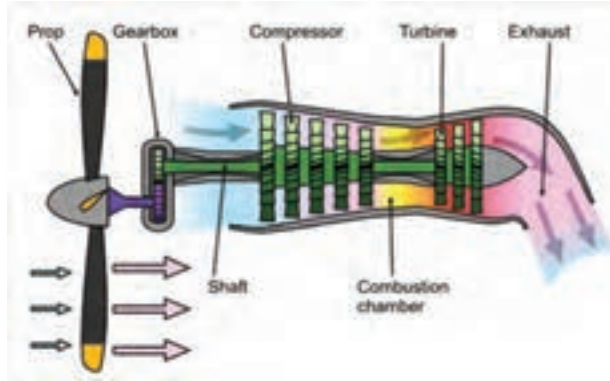
نمونه یک توربوفن

توربوپراپ: بسیاری از هواپیماهای ترابری و پرمصرف کوچک از پیشرانش توربوپراپ استفاده می‌کنند. موتورهای توربوپراپ از هسته یک موتور توربین گازی برای گرداندن

ملخ استفاده می‌کنند. موتورهای ملخ دار با حرکت دادن حجم بالایی از هوا و تغییر کمی در سرعت آن، تراست تولید می‌کنند. این پیش رانش‌ها بسیار کارآمد هستند و از هر نوع نیروی محرکه‌ای (موتور) برای به گردش در آوردن ملخ می‌توانند استفاده کنند.

در پیش رانش توربوپراپ دو قسمت اصلی و برجسته وجود دارند؛ یکی موتور و دیگری ملخ یا پروانه هستهٔ موتور در این نوع پیش رانش بسیار مشابه یک توربوجت ساده است، با این تفاوت که به جای رانش قوی گازهای خروجی به بیرون برای تولید تراست، بیشتر انرژی گازهای خروجی صرف گرداندن توربین می‌شود. این قسمت در بیشتر موتورها شامل چند مرحله از توربین‌های کاملاً مجزا است که نیروی آن‌ها از طریق یک شفت دیگر به جعبه دنده و بعد به ملخ انتقال می‌یابد. سرعت گازهای اگزوز در یک توربوپراپ پایین است و تراست کمی تولید می‌کند، چون بیشتر انرژی گازهای اگزوز صرف به گردش در آوردن توربین می‌شود. به‌طور میانگین در یک توربوپراپ، تراست تولیدی توسط هستهٔ جت حدود ۱۵٪ است درحالی که تراست تولیدی توسط ملخ آن مقدار باقی‌مانده یعنی ۸۵٪ است.

در تصور توربوفن و توبوپراپ مشابه یکدیگر هستند، اما توربوفن دقیقاً خاصیت یک جت را داراست به این معنا که برای تولید تراست از گازهای خروجی استفاده می‌کند و هم چنان که در شکل مشاهده می‌شود یک داکت یا مجرا دارد وقسمت فن دارای نازل نیز می‌باشد، ولی توربوپراپ فقط ازموتورجت استفاده می‌کند و تولید عمدهٔ، تراست توسط ملخ انجام می‌شود توربوپراپ از بازدهی بالاتری ازسوخت نسبت به توربوفن برخوردار است اما به هر حال صدا و ارتعاش تولیدی توسط ملخ توربوپراپ یک اشکال عمده است و از طرفی توربوپراپ به‌سرعت ساب سونیک محدود شده است.



نمونه یک توربوپراپ

تحقیق کنید

هر یک از روش‌های اصلاح بازده و کار خروجی سیکل ساده توربین گاز را بررسی کنید.

راه‌های اصلاح بازده و کار خروجی ویژه سیکل ساده

برای اصلاح کار یک توربین گاز با سیکل ساده می‌توان از روش‌های زیر استفاده نمود:

بازیابی حرارتی: در این روش هوای خارج شده از کمپرسور از داخل یک مبدل حرارتی که با گازهای خارج شده از توربین گرم می‌شود، عبور می‌کند. سپس هوای گرم شده وارد محفظهٔ احتراق می‌گردد و مقداری از آن برای سوختن سوخت مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه به هوای ورودی محفظهٔ احتراق، در داخل مبدل حرارتی مقداری حرارت داده می‌شود، در محفظهٔ احتراق با مصرف سوخت کمتری گاز به دمایی می‌رسد که در یک توربین بدون بازیاب با مصرف سوخت بیشتر ممکن است به آن دما برسد. بنابراین با کم شدن مصرف سوخت، بازده حرارتی افزایش می‌یابد.

اصلاح قدرت خروجی واحد توربین: این عمل به روش‌های زیر انجام می‌گیرد:

الف) گرم کردن مجدد

با گرم کردن مجدد گازها پس از خارج شدن آن از توربین اول، در یک محفظهٔ احتراق ثانویه، می‌توان کار بیشتری به دست آورد. بنابراین در این روش، انبساط کامل در توربین در دو یا چند مرحله حاصل می‌شود و پس از هر مرحله از انبساط، گرم کردن مجدد صورت می‌گیرد.

ب) بالابردن حداکثر دمای سیکل (دمای گاز ورودی توربین)

این عمل به روش‌های زیر انجام می‌گیرد:

۱ استفاده از سوختی با کیفیت بهتر؛

۲ استفاده از مواد بهتری برای پره‌های توربین که بتوانند دمای بیشتری را تحمل کنند؛

۳ استفاده از روش‌های خنک‌کردن پره‌ها؛

ج) اصلاح بازده توربین، که بستگی به اصلاح طرح آن دارد.

کاستن از قدرت مصرفی کمپرسور

این عمل به راه‌های زیر انجام می‌گیرد:

الف) خنک کردن میانی: کار خالص سیکل توربین گاز را می‌توان با کاهش کار مصرفی کمپرسور، افزایش داد. کار مصرفی کمپرسور با خنک کردن هوا در فاصله بین طبقات کمپرسور کاهش می‌یابد.

ب) با پایین آوردن دمای ورودی کمپرسور این روش عملی نیست، زیرا با این کار نسبت فشار افزایش می‌یابد.

پ) اصلاح بازده کمپرسور: این عمل با اصلاح طرح کمپرسور قابل اجرا می‌باشد.

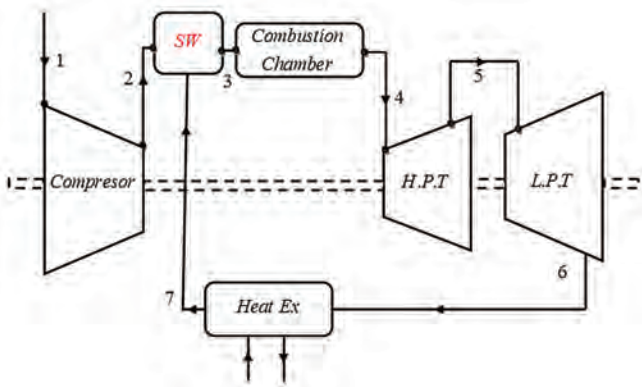
ت) تزریق آب: با تزریق مقداری آب در دهانه ورودی کمپرسور، کار خروجی و بازده در اثر جرم اضافی آب تزریق شده از خنک کردن هوا زیاد می‌شود.

تزریق آب: روش دیگر اصلاح سیکل توربین گازی تزریق آب است که با این روش، توان تولیدی سیکل توربین گازی را می‌توان افزایش داد. این عمل نه تنها تولید را افزایش می‌دهد، بلکه اثر مطلوبی نیز از نظر کاهش آلودگی هوا دارد. تزریق آب، توانایی مانور توربین گازی را در شرایط مختلف بهره برداری افزایش می‌دهد. این روش در توربین‌های گازی تولید برق و همچنین در بعضی از صنایع دیگری که از توربین گازی استفاده می‌کنند، قابل اجرا است.

در توربین‌های گازی، اگر عمل تزریق آب مسیر هوای ورودی کمپرسور انجام شود، موجب بخار شدن آب یا مرطوب هوا می‌گردد. گرمای لازم بخار شدن، از هوایی که در کمپرسور به عنوان سیال عامل، جریان دارد گرفته می‌شود. در نتیجه دمای هوا کاهش می‌یابد و از مقدار کار انجام شده توسط کمپرسور کم می‌شود. این عمل از دیدگاه فیزیکی مشابه روش سیستم کمپرسور با خنک‌کن میانی است.

تزریق آب، در دو نقطه دیگر از سیکل توربین گازی، یعنی مسیر هوای خروجی کمپرسور و پیش از محفظهٔ احتراق و درست در ورودی آن نیز امکان‌پذیر است. در این صورت، روش تزریق آب، هیچ اثری بر کاهش کار کمپرسور ندارد و فقط دبی جرمی را در سیکل افزایش می‌دهد. اگرچه دبی جرمی افزایش می‌یابد و توربین با دبی بالاتر، تولید بالاتری دارد، اما کمپرسور هیچ کار منفی اضافه‌ای در برابر افزایش دبی بر عهده نخواهد داشت. آب در قسمت هوای خروجی کمپرسور و پیش از محفظهٔ احتراق تزریق می‌شود. به دلیل آنکه معمولاً درجه حرارت آب تزریقی پایین است، هوای خنک شده در محفظهٔ احتراق که دمای بالایی دارد تنش حرارتی را به‌وجود می‌آورد، لذا در توربین‌های گاز به‌طور معمول آب تزریقی توسط سیستمی گرم شده و سپس تزریق می‌شود. در نتیجه اختلاف درجه حرارت هوای مخلوط شده با آب تزریقی و دمای محفظهٔ احتراق، تا اندازه‌ای کاهش می‌یابد. این در حد مجاز بوده و تنش حرارتی به وجود نمی‌آورد. لازم است ذکر شود که انرژی مورد نیاز برای گرم کردن آب، از حرارت تلف شده توربین گازی تأمین می‌شود. بهترین محل جذب حرارت، دودکش خروجی گازی است که حرارت تلف شده از آن به سیکل نمی‌گردد. به‌طور کلی انرژی بازیافت شده، اولاً کاهش تلفات انرژی گرمایی و ثانیاً افزایش دمای هوای ورودی محفظهٔ احتراق را باعث می‌شود. نتیجه این واکنش‌ها نیز کاهش مصرف سوخت در محفظهٔ احتراق را موجب می‌شود که پیامد آن، کاهش آلودگی هوا است. مقدار آب تزریقی به دمای هوای خروجی کمپرسور

بستگی دارد. تا زمانی که مخلوط آب و هوا به صورت اشباع باشد و آب به‌صورت قطراتی به سیستم وارد نشود، هیچ واکنش یا عوارض منفی را برای دستگاه‌ها پیش نمی آورد. اگر تزریق آب زیاد باشد، در این صورت کار انجام شده توسط خود سیکل توربین گازی افزایش یافته و کار خالص خروجی کاهش می‌یابد. از طرف دیگر افزایش دبی آب به بیش از مقدار مورد نیاز، اولاً موجب رسوب در سیستم‌های بعدی مانند مبدل حرارتی بازیاب می‌شود. ثانیاً موجب افزایش اختلاف دمای محلی می‌شود که این خود تنش‌هایی حرارتی را به وجود می‌آورد.



سیکل توربین گازی مجهز به تزریق آب در خروجی کمپرسور

نکته دیگری در باره مزیت تزریق آب، افزایش قابلیت بهره‌برداری توربین گاز در تغییر بار یا در بارهای پایین است. این نوع بهره برداری، قابلیت مانور توربین گازی را افزایش داده و از تغییر مشخصه‌های ترمودینامیکی به ویژه درجه حرارت، که منجر به تنش‌های حرارتی می‌شود، جلوگیری می‌کند. در این حالت اگر تغییراتی در بار حداکثر تولیدی یا در بار پایین درخواست شود، با تغییر مقدار دبی آب تزریقی، امکان تغییر مقدار تولید توربین گازی میسر است. با توجه به مقدار کار تولیدی در توربین برابر است با تغییرات آنتالپی در مقدار جرم ورودی سیال ($w_t = m \cdot \Delta h$)، بنابراین با تغییر مقدار جرم، کار تولیدی نیز تغییر خواهد کرد.
از آنجا که تغییرات آنتالپی تابع دما و فشار است و در تغییر بار با تزریق آب ثابت باقی می‌ماند، از تنش‌های مکانیکی و حرارتی جلوگیری می‌شود. اگر تغییر بار بیشتری پس از اتمام دبی تزریق آب مورد تقاضا باشد، در این صورت تغییرات آنتالپی مؤثر بوده و کاهش تولید، از طریق کاهش دما فشار یا هر دو، امکان پذیر می‌شود. به‌دلیل آنکه این کار پس از کاهش بار تولیدی و در بار پایین (پس از قطع جریان آب تزریقی) انجام شده است، از تنش‌های وارد شده، به ویژه از تنش‌های حرارتی کاسته می‌شود. این نوع قابلیت در بهره‌برداری، باعث افزایش طول عمر توربین گازی می‌شود.

ارزشیابی مرحله‌ای

عنوان پودمان فصل	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره‌دهی)	نمره
نگهداری و تعمیر توربین بخار و گاز	نگهداری و تعمیر توربین گاز	نگهداری و تعمیر توربین گاز	بالاتر از حد انتظار	۱ـ عملکرد توربین گاز را بررسی کند. ۲ـ یک توربین گاز ساده را بسازد و راه‌اندازی کند. ۳ـ نکات زیست‌محیطی در رابطه با نگهداری و تعمیر توربین گاز رعایت کند. *هنرجو توانایی انجام همهٔ شاخص‌ها را داشته باشد.	۳
			در حد انتظار	۱ـ عملکرد توربین گاز را بررسی کند. ۲ـ یک توربین گاز ساده را بسازد و راه‌اندازی کند. ۳ـ نکات زیست‌محیطی در رابطه با نگهداری و تعمیر توربین گاز رعایت کند. *هنرجو توانایی انجام دو مورد از شاخص‌ها را داشته باشد.	۲
			پایین‌تر از انتظار	۱ـ عملکرد توربین گاز را بررسی کند. ۲ـ یک توربین گاز ساده را بسازد و راه‌اندازی کند. ۳ـ نکات زیست‌محیطی در رابطه با نگهداری و تعمیر توربین گاز رعایت کند. *هنرجو توانایی انجام یک مورد از شاخص‌ها را داشته باشد.	۱
	نمرهٔ مستمر از ۵				
	نمرهٔ شایستگی پودمان از ۳				
	نمرهٔ پودمان از ۲۰				

ارزشیابی شایستگی نگهداری و تعمیر توربین بخار و گاز

شرح کار:
نگهداری و تعمیر دیگ‌های بخار؛
نگهداری و تعمیر توربین‌های بخار دریایی ؛
نگهداری و تعمیر توربین گاز.

استاندارد عملکرد:
باید بتواند عملکرد دیگ بخار، عملکرد توربین بخار دریایی و توربین گاز را بررسی نماید.
شاخص‌ها:
ـ عملکرد دیگ‌های بخار رابررسی کند.
ـ عملکرد توربین‌های بخار دریایی رابررسی کند.
ـ عملکرد توربین گاز را بررسی کند.
ـ ساخت و راه‌اندازی توربین دیگ بخار ساده، توربین بخار ساده و توربین گاز ساده.

شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:
شرایط: کارگاه مکانیک موتورهای دریایی با شرایط تهویهٔ مناسب و نور کافی.
ابزار و تجهیزات: رایانه، ویدئو پروژکتور، قیچی ورق بر، مشعل برش.

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	نگهداری و تعمیر دیگ‌های بخار.	۲	
۲	نگهداری و تعمیر توربین‌های بخار دریایی.	۱	
۳	نگهداری و تعمیر توربین گاز.	۱	
شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشتی، توجهات زیست‌محیطی و...		۲	
میانگین نمرات			*

* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی ۲ است.