



موتورهای هوایی

کمپرسور

گردآورندگان :

امیر مصطفوی

(دانشجوی کارشناسی ارشد - شرکت پشتیبانی و نوسازی هلیکوپترهای ایران)

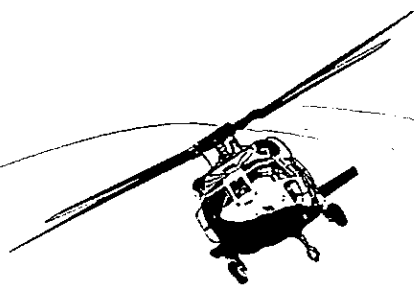
حمید وفاخواه

(دانشجوی کارشناسی ارشد - دانشگاه صنعتی شریف)

سرشناسه : مصطفوی، امیر، ۱۳۵۸ - ، گردآورنده
 عنوان و نام پدیدآور : طراحی کمپرسور موتورهای هوایی/گردآورندگان ■ میر مصطفوی، حمید وفاخواه؛ ویراستاران النازالسادات صبور، نوشین چنگیزی آشتیانی؛ به سفارش شرکت پشتیبانی و نوسازی هلیکوپترهای ایران (پنها).
 مشخصات نشر : تهران: سپهر نو، ۱۳۹۳.
 مشخصات ظاهری : ۲۹۶ص: مصور، جدول.
 شابک : 978-600-90136-5-4
 وضعیت فهرست نویسی : فیبا
 موضوع : کمپرسورها -- طرح و ساختمان
 موضوع : کمپرسورهای جریان محوری
 موضوع : توربین های گازی هواگرد
 شناسه افزوده : وفاخواه، حمید، ۱۳۶۸ - ، گردآورنده
 شناسه افزوده : شرکت پشتیبانی و نوسازی هلیکوپترهای ایران
 رده بندی کنگره : ۱۳۹۳ ط۴م/۶۹۹۰ TJ
 رده بندی دیویی : ۶۳۱/۵۵۵
 رده بندی ملی : ۳۳۷۱۴۵۸



نام کتاب : طراحی کمپرسور موتورهای هوایی
 ناشر : انتشارات سپهر نو
 گردآورندگان : امیر مصطفوی - حمید وفاخواه
 ویراستاران : النازالسادات صبور - نوشین چنگیزی آشتیانی
 صفحه آرای : هفت رنگ گرافیک «مینا جاویدی»
 لیتوگرافی : راییدگرافیک
 نوبت چاپ : اول - بهار ۱۳۹۳
 چاپ : جام طلایی
 صحافی : کیمیا
 ناظر فنی چاپ : محسن پورحسین
 تیراژ : ۵۰۰ جلد
 قیمت : ۱۴۸۰۰۰ ریال
 شابک : ۹۷۸-۶۰۰-۹۰۱۳۶-۵-۴
 به سفارش شرکت پشتیبانی و نوسازی هلیکوپترهای ایران (پنها)



فهرست

۱۱	پیشگفتار مدیر عامل
۱۳	پیشگفتار گردآورندگان

بخش اول

بیان

فصل اول

۱۷	آشنایی با توربین‌های گاز
۱۷	۱-۱ مقدمه
۱۹	۲-۱ طبقه‌بندی توربین‌های گاز
۱۹	۳-۱ سیکل ایده آل موتور توربین گاز
۲۲	۴-۱ قوانین کلی حاکم بر سیستم‌های مورد بررسی
۲۳	۱-۴-۱ قانون بقای جرم
۲۳	۲-۴-۱ قانون بقای انرژی
۲۴	۳-۴-۱ قانون بقای اندازه حرکت خطی
۲۴	۴-۴-۱ قانون بقای اندازه حرکت زاویه‌ای
۲۵	۵-۴-۱ اصل افزایش آنتروپی و قانون دوم ترمودینامیک
۲۵	۵-۱ کارایی حرارتی و توان مخصوص
۳۱	۱-۶-۱ محاسبه کارایی حرارتی سیکل واقعی توربین گاز
۳۱	۲-۶-۱ محاسبه نسبت فشار بهینه برای تولید حداکثر توان خروجی مخصوص در سیکل واقعی ساده توربین گاز



- ۳۳ ۷-۱ معکوس سیکل برایتون
- ۳۴ ۸-۱ تاریخچه پیدایش و توسعه توربین گاز
- ۳۹ ۹-۱ اصول کارکرد توربین گاز
- ۳۹ ۱-۹-۱ نحوه کارکرد
- ۴۰ ۲-۹-۱ اجزاء توربین گاز باز و نحوه کار آنها
- ۴۱ ۳-۹-۱ اجزاء توربین گازی بسته و نحوه کار آن
- ۴۱ ۴-۹-۱ مقایسه بین سیکل‌های توربین گازی باز و بسته
- ۴۲ ۱-۱۰-۱ مقایسه توربین گاز و موتور پیستونی رفت و برگشتی
- ۴۳ ۱-۱۰-۱ مزایای توربین گاز نسبت به موتور پیستونی رفت و برگشتی
- ۴۴ ۲-۱۰-۱ معایب توربین گاز نسبت به موتور پیستونی رفت و برگشتی
- ۴۴ ۱-۱۱-۱ مقایسه بین توربین بخار و توربین گاز
- ۴۴ ۱-۱۱-۱ مزایای توربین گاز نسبت به توربین بخار
- ۴۵ ۱-۱۱-۱ معایب توربین گاز نسبت به توربین بخار
- ۴۵ ۱۲-۱ اجزای اصلی توربین گازی
- ۴۵ ۱-۱۲-۱ کمپرسور
- ۴۷ ۲-۱۲-۱ کمپرسورهای جریان مرکز
- ۴۹ ۳-۱۲-۱ کمپرسور محوری
- ۵۲ ۴-۱۲-۱ محفظه‌های احتراق

فصل دوم

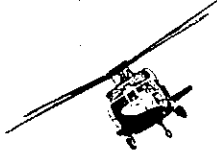
- ۵۷ روابط حاکم بر عملکرد کمپرسور
- ۵۷ ۱-۲ مقدمه
- ۵۸ ۲-۲ کمپرسور
- ۶۰ ۱-۲-۲ کمپرسورهای جریان محوری
- ۶۰ ۲-۲-۲ آنالیز دو بعدی یک مرحله از کمپرسور جریان محوری

بخش دوم

کمپرسورهای محوری

فصل سوم

- ۷۳ مفاهیم فیزیک جریان در کمپرسورهای محوری
- ۷۳ ۱-۳ خصوصیات جریان در کمپرسور محوری
- ۷۴ ۲-۳ مسیر حرکت یک ذره جریان در کمپرسور محوری و نمایش مثلث سرعت



۵

۷۷	۳-۳ ساده سازی مثلث سرعت
۷۸	۴-۳ هندسه پره
۷۹	۵-۳ روابط مورد استفاده در طراحی
۷۹	۱-۵-۳ ضریب فشار
۷۹	۲-۵-۳ ضریب جریان
۷۹	۳-۵-۳ ضریب عکس العمل
۸۰	۴-۵-۳ عدد دی هالر
۸۰	۵-۵-۳ ضریب ازدیاد فشار
۸۱	۶-۵-۳ ضریب ازده
۸۱	۷-۵-۳ ضریب صلیبیت
۸۱	۸-۵-۳ ضریب انتشار و نسبت انتشار
۸۲	۹-۵-۳ بررسی مبدع و پدیده های خارج از طراحی
۸۲	۶-۳ منحنی مشخصه کمپرسور
۸۲	۱-۶-۳ محور جریان عبوری
۸۳	۲-۶-۳ جریان اصلاح شده
۸۳	۳-۶-۳ محور نسبت فشار
۸۳	۴-۶-۳ خط سرج
۸۴	۵-۶-۳ حاشیه سرج
۸۴	۶-۶-۳ خطوط سرعت ثابت
۸۵	۷-۶-۳ خط کاری
۸۵	۸-۶-۳ تحلیل منحنی مشخصه کمپرسور

فصل چهارم

۹۱	منحنی مشخصه کمپرسور محوری
۹۱	۱-۴ آنالیز ابعادی
۹۲	۱-۱-۴ تحلیل ابعادی در مسائل سیالاتی
۹۴	۲-۱-۴ تشابه سینماتیکی
۹۴	۳-۱-۴ تشابه دینامیکی
۹۴	۲-۴ تئوری پای باکینگهام
۹۵	۱-۲-۴ تعیین گروه های π
۹۸	۳-۴ کمیت های بدون بعد برای رسم مشخصه های کمپرسور
۱۰۰	۴-۴ مشخصه های کمپرسور

فصل پنجم

۱۰۳	ناپایداری و کنترل آنها در کمپرسورهای محوری
-----	--



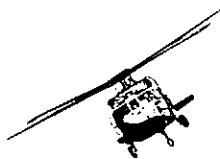
۱۰۴	۱-۵ آشنایی با سرچ و ناپایداری دورانی
۱۰۴	۱-۱-۵ کیفیت وقوع ناپایداری دورانی
۱۰۷	۱-۱-۵ کیفیت وقوع سرچ
۱۰۹	۱-۱-۵ روش تشخیص سرچ از واماندگی دورانی
۱۱۰	۲-۵ مدل سازی رفتارهای ناپایدار کمپرسور
۱۱۳	۳-۵ معرفی اجمالی مدل های کنترلی
۱۱۳	۱-۳-۵ مدل مور - گرایتزر
۱۱۳	۳-۳-۵ تحلیل انشعابی و کنترل غیر خطی
۱۱۴	۲-۳-۵ کنترل خطی اغتشاشات و بازخوردی
۱۱۴	۴-۵ پیشرفت های بعدی در زمینه مدل سازی و کنترل
۱۱۶	۵-۵ تئوری مور - گرایتزر و روابط حاکم بر ناپایداری جریان
۱۱۸	۱-۵-۵ مدل دینامیک سیالاتی مور و گرایتزر
۱۳۹	۲-۵-۵ کاربرد مدل مور و گرایتزر

فصل ششم

۱۴۱	بهینه سازی کمپرسور
۱۴۳	۱-۶ تحلیل های دو بعدی طیف کمپرسور
۱۴۳	۲-۶ دیاگرام سرعت طبقه کمپرسور
۱۴۴	۳-۶ ترمودینامیک طبقه کمپرسور
۱۴۵	۴-۶ روابط افت طبقه و بازده
۱۴۷	۵-۶ نسبت عکس العمل
۱۴۹	۶-۶ راندمان ایزنتروپیک کل به کل طبقه
۱۵۱	۷-۶ پایداری کمپرسورها
۱۵۴	۸-۶ فرمولاسیون ناحیه واماندگی
۱۵۶	۹-۶ مساحت ویژه ورودی به طبقه کمپرسور
۱۵۷	۱۰-۶ طرح مسئله
۱۵۸	۱۱-۶ روابط حاکم بر پارامترهای مورد نظر کمپرسور
۱۵۸	۱-۱۱-۶ تابع راندمان
۱۵۸	۲-۱۱-۶ تابع محدوده واماندگی
۱۵۸	۳-۱۱-۶ تابع مساحت ورودی
۱۵۹	۱۲-۶ تطبیق روابط بهینه سازی با پارامترها، فرمول ها و قیدهای کمپرسور

فصل هفتم

۱۶۳	طراحی پره
۱۶۳	۱-۷ محاسبه تعداد پره های هر طبقه



۱۶۴	۲-۷ محاسبه زاویه خروج پره
۱۶۵	۳-۷ زاویه نشست
۱۶۵	۴-۷ بازده
۱۶۷	۵-۷ پره
۱۷۰	۶-۵-۷ خط انحنا با کمبر دایروی
۱۷۲	۳-۵-۷ خط انحنا با کمبر سهموی

۷

بخش سوم

کمپرسورهای گریزاز مرکز

فصل هشتم

۱۷۷	فیزیک جریان در کمپرسورهای گریزاز مرکز
۱۷۷	۳-۸ مقدمه‌ای بر جریان در پروانه
۱۷۷	۱-۸-۳ نقش پروانه
۱۷۹	۱-۸-۳ ورودی پروانه
۱۸۲	۱-۸-۳ القاء کننده‌های گذر صوتی
۱۸۲	۱-۸-۴ القاء کننده‌های فوق بحرانی
۱۸۳	۱-۸-۵ جدا کننده
۱۸۴	۱-۸-۶ بیهینه‌سازی در القاء کننده
۱۸۵	۱-۸-۶ شرایط جریان در داخل پروانه
۱۸۷	۱-۸-۷ مدل‌سازی پروانه معمولی
۱۹۲	۲-۸ جریان ثانویه در پروانه
۱۹۲	۱-۲-۸ جریان‌های ثانویه در شرایط غیر لزج و تراکم‌ناپذیر
۲۰۰	۳-۸ مدل‌سازی و امکان‌پذیری طراحی پروانه
۲۰۰	۱-۳-۸ تغییرات ترمودینامیکی و سینماتیکی

فصل نهم

۲۱۳	نقش پخش‌کن‌ها در طراحی
۲۱۳	۱-۹ نقش پخش‌کن بر عملکرد کمپرسور
۲۱۴	۲-۹ پخش‌کنهای بدون پره
۲۱۴	۱-۲-۹ عملکرد پخش‌کن بدون پره در شرایط دائمی
۲۲۲	۲-۲-۹ عملکرد پخش‌کن بدون پره در حالت غیر دائمی
۲۲۴	۳-۹ طراحی پخش‌کن‌های نوع کسکید



۲۲۴	۱-۳-۹ مقدمه
۲۲۶	۲-۳-۹ طراحی پخش کنهای کسکید - شکل پره ایرفویل
۲۲۸	۳-۳-۹ برآورد میزان اتلاف
۲۳۱	۴-۳-۹ چگونگی طراحی پخش کن
۲۳۴	۵-۳-۹ مشاهداتی در مورد عملکرد برخی پخش کنها
	۴-۹ طراحی و عملکرد پخش کنهای کانالی شامل گذرگاههای مستطیلی واگرای
۲۴۱	درگانه و مخروطی
۲۴۱	۱-۴-۹ مفهوم پخش کن کانالی
۲۴۱	۲-۴-۹ توسعه لایه مرزی
۲۴۹	۳-۴-۹ منحنی عملکرد پخش کن کانالی
۲۵۴	۴-۴-۹ پخش کنهای کانالی با مقطع مستطیلی
۲۵۶	۵-۴-۹ پخش کنهای کانالی با مقطع مخروطی
۲۵۷	۶-۴-۹ پخش کنهای کانالی با واگرایی مضاعف
۲۵۷	۵-۹ کاربرد و مدل سازی

فصل دهم

۲۵۹	ناپایداری و کنترل آن در کمپرسورهای گریز از مرکز
۲۵۹	۱-۱۰ مروری بر شرایط واماندگی دائمی
۲۵۹	۲-۱۰ واماندگی دورانی در کمپرسورهای گریز از مرکز
۲۵۹	۱-۲-۱۰ مقدمه
۲۶۰	۲-۲-۱۰ بررسی انواع واماندگی دورانی
۲۶۴	۳-۲-۱۰ واماندگی دورانی در پخش کن بدون پره
۲۷۵	۴-۲-۱۰ واماندگی دورانی ناگهانی در پروانه
۲۸۰	۵-۲-۱۰ واماندگی دورانی پیشرفته در پروانه
۲۸۵	۶-۲-۱۰ چگونه از وقوع واماندگی دورانی جلوگیری کنیم
۲۹۰	۳-۱۰ سرج و سیستم مدل سازی آن
۲۹۲	۴-۱۰ هندسه متغیر و گسترش محدوده عملکرد
۲۹۲	۱-۴-۱۰ تغییرات و دگرگونی میدان جریان
۲۹۵	۲-۴-۱۰ استفاده از هندسه متغیر

تقدیم به

پیشکسوتان و دانشمندان صنعت توریسم های

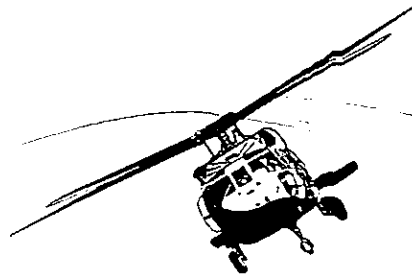
گازی آنان که عمر خود را در این راه صرف کردند...

اساتید بزرگم که داشته هایشان را خالصانه به ما

واگذار کردند...

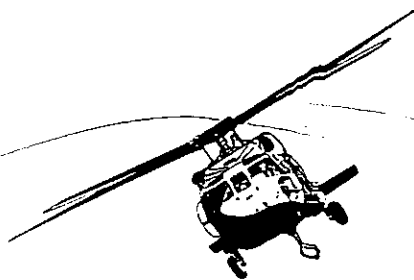
و تقدیم به همه ی اعضای خانواده ام که عاشقانه

سایتم کردند....



پیشگفتار مدیر عامل

با نهایت تضرع و تواضع بر آستان کبریائی حضرت حق و با سپاس از الطاف بیکران خداوند سبحان و در راستای فرمایشات مقام معظم رهبری در خصوص تولید علم، شرکت پشتیبانی، نوسازی و ساخت هلیکوپترهای ایران پناه این توفیق را یافته است که با اراده مشترک برای رسیدن به مقاصد عالیه در خصوص تولید علم، تمام‌ها، اساسی و با برنامه‌ای بردارد. تولید علم و فناوری امروزه یکی از اساسی‌ترین شروط بقا در جوامع متفکر و پویاست؛ می‌توان در یک نگاه هوشمندانه، مؤلفه تولید علم در کشورهای مختلف که ارتباط مستقیم با پیوسته‌ها با میزان رشد و پویایی آنان دارد تحلیل کرد. شرکت پناه یا تجربه‌ای بیش از ۴۰ ساله است که به‌ای بسیار درخشان و منحصر به فرد به عنوان اصلی‌ترین و مهم‌ترین قطب بالگردی با رشدی منسجم در خصوص صنعت پیچیده بالگرد از آغاز برنامه تا تحولی عظیم و جهشی در حد بسیار عالی منشأ خدمات ارائه‌دهنده در جامعه اسلامی به ویژه در دوران دفاع مقدس بوده است. امروز پناه با راهبرد نوآورانه و قوی به‌عنوان یکی از نهادهای مخلص و متعهد و کارآمد بخش عمده‌ی ارزش‌های یک صنعت با فناوری بالا را از آن خرد کرده است. لذا با توجه به ویژگی‌های فرهنگی حاکم بر پناه مبنی بر خدمت به نظام و حفظ دستاوردهای آن به عنوان یک ارزش مورد قبول، همه کارکنان در یک رویکرد مناسب اقدام به انتقال تجربه‌ای چندین ساله کاری علمی خود در قالب کتاب‌های علمی و تخصصی که حاصل تلاش همکاران صدیق پناه می‌باشد را به دست و امید است جزء باقیات و صالحات برای این عزیزان و همه دست‌اندرکاران باشد. انشاء الله... نزد محبت دوست مأجور خواهد بود. امید است این گام هرچند کوتاه آغازی مبارک برای رسیدن به اهداف عالیه و تحولی عظیم در صنعت پیچیده بالگرد و قدمی در راستای تولید علم و بومی‌سازی که این مهم صرفاً در اختیار معدود کشورهاست، باشد. قطعاً دریافت انتقادات و پیشنهادات از صاحبان اندیشه و علم کمک شایانی به سرعت بخشیدن به جایگاه برتر و متعارف ایران اسلامی اهداء خواهد کرد.



پیشگفتار گردآوردندگان

سپاس خداوند بزرگوار که به ما نعمت زیستن را عطا نمود و همواره باران نعمات خود را بر ما ارزانی داشت. در طول سال‌های اخیر، با پیشرفت علم هوافضا در ایران، انتشار کتاب‌های مختلف درباره‌ی موضوعات مختلف موجود در این رشته سرعت بیشتری یافت، اما با توجه به گستره‌ی پهناور این شاخه‌ی جذاب از علوم، همچنان راهی بسیار طولانی پیش روی فعالان این عرصه است.

علم پیشرانش یکی از مهمترین و پویاترین شاخه‌های علم هوافضا است که به طراحی و تحلیل موتورهای هوایی می‌پردازد. در سال‌های گذشته کتاب‌های مختلفی در زمینه موتورهای توربین گاز هوایی منتشر شده و مفاهیم اساسی و کلی آن تحلیل عملکرد این موتورها به طور مختصر شرح داده شده است. اما آنچه گردآوردندگان را بر آن داشت که به گردآوری این کتاب همت گمارند، جنبه‌هایی است که تاکنون کمتر به آنها پرداخته شده است. همچنین در این کتاب سعی شده تا علاوه بر مسائل نظری، صباحت عملی و اجرایی مطالب گفته شده را در اختیار خوانندگان ارائه شود.

کتاب حاضر مشتمل بر ۱۰ فصل است که به ۳ بخش کلی تقسیم می‌شود. بخش اول کلیاتی در مورد آشنایی با توربین‌های گاز و روابط حاکم بر عملکرد کمپرسور توربینی را در بر می‌گیرد. بخش دوم شامل مباحث نظری مربوط به موتورهای توربین گاز شامل معرفی سیکل‌ها، تعریف پارامترهای طراحی و در نهایت رسم منحنی مشخصه کمپرسور محوری است. در بخش سوم به ویژگی‌های عملکردی موتور نظیر تحلیل ناپایداری، وقوع پدیده سرج، انواع واماندگی و ... پرداخته شده است.

لازم به ذکر است که تمرکز کتاب بر روی کمپرسورهای محوری است، اما در بخش سوم مباحثی مختصر در مورد کمپرسورهای گریز از مرکز بیان می‌گردد.

امید است که این کتاب بتواند اطلاعاتی مفید و سازنده در اختیار خوانندگان خود قرار دهد.