

طراحی موتورهای سوخت مایع "ساختار و سازه"

تالیف و تدوین

علی جعفرقلی
داود رمش
جلیل عبیات
محمدجواد منتظری



انتشارات صنایع هوافضا

طراحی موتورهای سوخت مایع: ساختار و سازه، تألیف و تدوین: علی جعفرقلی...
[و دیگران] - تهران: انتشارات صنایع هوافضا، ۱۳۸۴.

۵۷۸ ص.: مصور، جدول، نمودار.

۶۵۰۰۰ ریال

ISBN: 964-95926-6-0

فهرست نویسی بر اساس اطلاعات فیپا

واژه نامه.

کتابنامه: ص. ۵۵۰.

۱. موشک های سوخت مایع. ۲. سوخت مایع. ۳. موتورهای سوخت. الف. جعفرقلی،
علی، ۱۳۵۱ - ب. سازمان صنایع هوافضا.

ط ۴ / ۷۸۳ / TL

کتابخانه ملی ایران

۶۲۹ / ۴۷۵۲۲

۸۴ / ۴۶۶۵۱ م

انتشارات صنایع هوافضا

تهران صندوق پستی ۱۶۱-۱۶۷۶۵

تلفن: ۷-۲۲۹۴۵۴۶۶ (۰۲۱) نمابر: ۲۲۹۴۵۴۴۸ (۰۲۱)

طراحی موتورهای سوخت مایع، ساختار و سازه

تألیف و تدوین: علی جعفرقلی، داود رمش، جلیل عبیات، محمدجواد منتظری.

نظارت فنی: انتشارات یامهدی (عج) (سیدمهرداد عمادی)

ویراستاران: علی جعفرقلی، داود رمش، محمدجواد منتظری

صفحه آرای: محمدجواد منتظری

چاپ اول: تابستان ۱۳۸۵

لیتوگرافی: آیین پیام

چاپ: کبریا

صحافی: دموت

شمارگان: ۵۰۰ جلد

قیمت: ۶۵۰۰۰ ریال

ISBN: 964-95926-6-0

شابک: ۹۶۴-۹۵۹۲۶-۶-۰

به نام خدا

سخن ناشر

رشد و پیشرفت صنایع هوافضا، مستلزم پویایی در علوم مرتبط با آن است و بی‌شک این پویایی علمی در سایه‌ی حمایت از مخترعات و نرم‌افزارها، پدید می‌آید. از سوی دیگر نیاز روزافزون صنایع هوافضا به کارشناسان و مهندسان کاربردی و ایجاد گرایش‌های تخصصی در مهندسی هوافضا، نبود منابع علمی و فنی را، بیش‌تر نمایان می‌سازد. از این رو مدیریت درست منابع علمی و توسعه‌ی آن‌ها - به ویژه کتاب - از اولویتهای سازمان صنایع هوافضا است. با جهت‌گیری به سوی این هدف کلان، انتشارات صنایع هوافضا، در صدد است با حمایت از اندیشمندان و دانشمندان جوان کشور، اعتلای هم‌زمان «علم» و «صنعت» در کشور را، رقم زند.

کتاب «طراحی موتورهای سوخت مایع؛ ساختار و سازه» حاصل این راهبرد بلندنگر است و چکیده‌ی تلاش چند ساله‌ی چهار تن از متخصصین موتور سوخت مایع کشور می‌باشد. این کتاب با معرفی موتورهای سوخت مایع و تبیین ساختار و سازه‌ی اجزای آن، دریچه‌ای است به دنیای این گونه از موتورها. انتشارات هوافضا، امیدوار است، این کتاب سرآغازی برای نهادینه شدن «علم موتورهای سوخت مایع» و رشد صنعت موتور کشور باشد، چه این که، منابع مشابه خارجی درباره‌ی ساختار موتورهای سوخت مایع بسیار اندک و غیر قابل دسترس هستند و در این زمینه

تاکنون کتابی به زبان پارسی، نوشته نشده است. این کتاب مطالب و مباحث ارزشمندی را در باب طراحی موتورهای سوخت مایع، مطرح می‌کند که در اندک منابع موجود، یافت نمی‌شود.

مولفین کتاب، با وسواس و دقت خاص، مطالب کتاب را به گونه‌ای تدوین نموده‌اند که روند منطقی آن در ذهن خواننده، ماندگار شود و پیچیدگی‌های موتور سوخت مایع، موجب تشنگی و سرگردانی خواننده نگردد. «استفاده از واژه‌های پارسی مصطلح در صنعت هوافضای کشور»، «صفحه‌آرایی چشمگیر» - که خستگی خواننده را کاهش می‌دهد - و «استفاده از چاشنی مطالب غیرفنی» - مانند مباحث تاریخی موتورهای سوخت مایع یا کلام بزرگان در ابتدای هر فصل - از ویژگی‌های برجسته‌ی کتاب است که آن را به کتابی شاداب و زنده، تبدیل کرده است. کار گروهی مولفین نیز، از نکات مثبتی است که جای بسی خوشوقتی دارد.

امید است از دیدگاه خوانندگان، فزونی نکات مثبت کتاب بر کاستی‌های آن، برتری داشته باشد و مورد توجه آنان، قرار گیرد. انتشارات هوافضا، پذیرای هرگونه پیشنهاد اصلاحی شماست و صمیمانه از آن، استقبال می‌کند.

انتشارات صنایع هوافضا

فهرست مطالب

۱ مقدمه

فصل ۱. اطلاعات کلی درباره‌ی موتور موشک‌ها

۱-۱. کلیات و تعاریف اولیه ۸

۸ کلیات

۱۰ الزامات ایجاد نیروی پیشران

۱۰ الزامات سیال عامل

۱۰ تعریف موتور موشک

۱۱ پیشرانه

۱۱ سوخت و اکسیدکننده

۱۱ سامانه‌ی پیشران

۱۱ ۲-۱. دسته‌بندی سامانه‌های پیشران موشکی

۱۲ دسته‌بندی بر اساس نوع «انرژی اولیه»

۱۳ ۳-۱. موتور موشک سوخت مایع و پیشرانه‌های مایع

۱۴ حالت بسیار ساده‌ای از مدار یک موتور سوخت مایع

- ۴-۱. پارامترهای اصلی موتور سوخت مایع ۱۵
- ۵-۱. دیگر دسته‌بندی موتورهای موشک سوخت مایع ۲۰
 - ۱- دسته‌بندی بر اساس مأموریت سامانه‌ی پشران ۲۰
 - موتور اصلی یا مسیری ۲۰
 - موتور اوج و موتور حضيض ۲۱
 - موتورهای مدول فرود ۲۱
 - موتور ورنیه یا موتور سیستم کنترل عکس‌المعلی ۲۱
 - موتورهای تصحیح ۲۴
 - موتور توقف ۲۴
 - موتور اتصال‌دهنده ۲۵
 - ۲- دسته‌بندی بر اساس نوع سیستم تغذیه ۲۵
 - ۳- دسته‌بندی بر اساس تعداد مولفه‌های پشرانه ۲۶
 - ۴- دسته‌بندی بر اساس تعداد پشرانه‌ها ۲۷
 - ۵- دسته‌بندی بر اساس ویژگیهای پشرانه ۲۸
 - ۶- انواع موتورها از دیدگاه میزان نیروی پشران ۳۰
 - ۷- دسته‌بندی بر اساس ویژگیهای رژیم کاری ۳۰
 - ۸- دسته‌بندی سامانه‌های پشران از دیدگاه «محل شارژ باک» ۳۱
 - ۹- دسته‌بندی بر اساس میزان بستگی باک و موتور ۳۲
 - ۱۰- دسته‌بندی بر اساس «ساختار توده‌ساز پشرانه در باک‌ها» ۳۳
 - ۱۱- دسته بندی از دیدگاه «پایدارسازی جسم پرنده» ۳۴
 - ۱۲- قابلیت اطمینان ۳۵
 - ۱۳- نوع طراحی و بهینه‌سازی ۳۶
- ۶-۱. الزامات یک «سامانه‌ی پشران» ۳۷
 - تعریف سرعت نهایی ایده‌آل ۳۷
 - نتایج معادله‌ی سالکوفسکی ۳۸
 - الزامات اساسی یک سامانه‌ی پشران ۴۰
 - ۱- قابلیت اطمینان بالا ۴۰
 - ۲- حداقل هزینه‌ی ممکن ۴۱
 - ۳- کم‌ترین زمان ممکن جهت تهیه و تولید و تحویل نهایی موتور ۴۱
 - ۴- کم‌ترین ریسک ناموفق بودن طرح ۴۱
 - ۵- کم‌ترین مشکلات زیست محیطی ۴۱

۴۲	۶ - کوچک‌ترین ابعاد ممکن
	۷ - سادگی، ارزانی و بی‌خطر بودن انتقال، انبارداری و عملیات پیش از
۴۲	پرتاب سامانه‌ی پشران
۴۳	۸ - سادگی طرح و عملی بودن آن از لحاظ تکنولوژیکی
۴۴	۹ - الزامات ویژه‌ی برخی موتورهای سوخت مایع
۴۵	۷-۱. نکاتی درباره‌ی طراحی سیستمی و بهینه‌سازی موتور
۴۵	تعریف طراحی سیستمی
۴۶	مراحل اساسی
۴۶	انتخاب فشار محفظه
۴۶	انتخاب نوع پشرانه
۴۷	بهینه‌سازی فشار انتهای نازل
۴۸	تاثیر ایمپالس ویژه و جرم موتور بر سرعت نهایی
۴۸	۸-۱. اجزاء اصلی و تجهیزات موتور سوخت مایع
۵۰	محفظه‌ی موتور سوخت مایع
۵۰	سیستم تغذیه‌ی موتور سوخت مایع
۵۱	مولدگاز
۵۱	لوله‌های انتقال مولفه‌های سوخت و اکسیدکننده
۵۲	دستگاه‌های کنترل موتور
۵۳	اجزاء و دستگاه‌های کمکی و جانبی موتور
۵۴	پرسش‌ها

فصل ۲. مدار اصلی موتورهای سوخت مایع

۵۸	۲-۱. انواع سیستم‌های تغذیه در موتور سوخت مایع
۵۸	الف. سیستم تغذیه‌ی دمش محض
۵۹	ب. سیستم تغذیه‌ی توربوپمپی
۶۰	۲-۲. انتخاب سیستم تغذیه
۶۲	دو مثال
۶۳	یک نکته
۶۳	۲-۳. مدار سامانه‌های پشران با سیستم تغذیه‌ی دمشی

ویژگی‌های کلی مدار سیستم‌های دمشی	۶۳
انواع سامانه‌های پیشران دمشی با سیستم گاز فشرده	۶۴
گروه اول: سامانه‌های پیشران دمشی همسان	۶۶
الف) یک بار شارژ	۶۶
ب) شارژ جبرانی از مخزن مشترک	۶۶
ج) شارژ جبرانی از مخازن مجزا	۶۷
د) کنترل مشترک فشار باک‌ها	۶۷
هـ) کنترل مستقل فشار باک‌ها	۷۰
گروه دوم: سامانه‌های پیشران دمشی ناهمسان	۷۰
دو مثال از سیستم «یک بار شارژ» در سامانه‌های ناهمسان	۷۱
مثالی از «کنترل مشترک فشار باک‌ها» در سامانه‌های ناهمسان	۷۳
ویژگی‌های عمومی سامانه‌های پیشران دمشی	۷۴
۴-۲. مدار سامانه‌های پیشران توربوپمپی	۷۵
ویژگی‌های اصلی	۷۵
دسته‌بندی موتورهای سوخت مایع توربوپمپی	۷۷
طرح موتور توربوپمپی «سیکل باز»	۷۸
طرح موتور توربوپمپی «سیکل بسته»	۸۱
مدار پنوموهیدرولیکی موتور	۸۴
پرسش‌ها	۸۵

فصل ۳. کنترل اتوماتیک در موتورهای سوخت مایع

۱-۳. مأموریت اصلی سیستم کنترل اتوماتیک در موتورهای سوخت مایع و ساختار آن	۹۰
معرفی اجزای سیستم کنترل اتوماتیک موتور	۹۱
شیرآلات	۹۱
دیگر اجزای سیستم کنترل اتوماتیک موتور	۹۳
نمونه‌ای از یک سیستم کنترل بسیار ساده و یک سیستم کنترل بسیار پیچیده	۹۳
۲-۳. تنظیم نیروی پیشران و نسبت مولفه‌ها	۹۵
شمای عمومی رگولاتورها	۹۵
طرح‌های اصلی رگولاتورهای موتورهای سوخت مایع	۹۸

۹۹	کنترل نیروی پشرانِ موتور
۹۹	۱- کنترل «دبی مولفه‌های» ورودی به مولد گاز سوخت مایع
۱۰۰	۲- کنترل «نسبت مولفه‌ها» در مولد گاز
۱۰۱	۳- کنترل «فشار مولفه‌های ورودی» به محفظه
۱۰۲	۴- کنترل «دبی مولفه‌های ورودی» به محفظه
۱۰۲	کنترل نسبت مولفه‌ها (O/F) در موتور
۱۰۳	۳-۳. دمش باک‌ها
۱۰۴	انواع سیستم‌های دمش باک‌ها
۱۰۴	۱- استفاده از مخازن تحت فشار (کپسول یا بالون)
۱۰۶	۲- سیستم‌های دمش تبخیری
۱۰۷	۳- استفاده از «مولد گاز دمشی»
۱۰۹	۴- سیستم دمش بدون مولد گاز
۱۰۹	۵- سیستم‌های دمش با «مولد گاز سوخت جامد»
۱۱۰	۶- سیستم دمش ترکیبی همراه با بوسترپمپ
۱۱۲	الف - استفاده از یک مولفه‌ی اصلی و پرفشارِ موتور
۱۱۲	ب - استفاده از یک مولفه‌ی گازی شکل و گرم
۱۱۲	ج - استفاده از گاز تولیدی در یک مولد گازِ موتور
۱۱۲	۴-۳. کنترل بردار نیروی پشران
۱۱۳	معرفی محور مختصات و زوایای تعیین‌کننده‌ی موقعیت موشک در فضا
۱۱۵	روش‌های کنترل بردار نیروی پشران
۱۱۶	کنترل بردار نیروی پشران در موتورهای تک محفظه‌ای
۱۱۸	کنترل بردار نیروی پشران در موتورهای چند محفظه‌ای
	کنترل بردار نیروی پشران در موتورهای چند محفظه‌ای مجهز به
۱۱۹	محفظه‌های کنترلی
۱۲۰	پرسش‌ها

فصل ۴: استارت و خاموشی در موتورهای سوخت مایع

۱۲۴	۴-۱. الزامات اساسی
۱۲۴	اهمیت رژیم‌های استارت و خاموشی موتور
۱۲۵	پارامترهای شروع به کار موتور

۱۲۶	 مراحل عمومی شروع به کار موتور
۱۲۷	 شرایط خاص در شروع به کار موتور
۱۲۸	 خاموشی یا پایان کار موتور
۱۲۸	 ۱- دوره‌ی شروع یا آماده‌سازی برای خاموشی
۱۲۹	 ۲- مرحله نهایی خاموشی موتور؛
۱۲۹	 شرایط خاص در خاموشی موتور
۱۳۰	 سیکلوگرام موتور
۱۳۲	 ۲-۴. راه‌اندازی توربوپمپ
۱۳۲	 ۱- راه‌اندازی به کمک مولد گاز سوخت مایع اصلی
۱۳۵	 مشکلات استفاده از روش خود راه‌انداز در موتورهای سیکل باز
۱۳۶	 ۲- به گردش درآوردن توربین با مولد گاز راه‌انداز
۱۳۷	 امکان راه‌اندازی موتور سیکل بسته با استارت سوخت جامد
۱۳۷	 ۳- به گردش درآوردن توربوپمپ به وسیله‌ی توربین راه‌انداز
۱۳۸	 ۴- راه‌اندازی توربوپمپ به وسیله‌ی گاز فشرده
۱۳۹	 ۳-۴. اشتعال و احتراق مولفه‌های پیش‌رانه
۱۳۹	 زمان تاخیر اشتعال
۱۴۰	 روش‌های مشتعل‌سازی پیش‌رانه‌های غیرخود اشتعال
۱۴۰	 الف. اشتعال شیمیایی
۱۴۲	 ب. اشتعال با چاشنی سوخت جامد
۱۴۳	 ج. اشتعال با سیستم آتش‌زنی الکتریکی
۱۴۴	 ۴-۴. خنک‌سازی موتور پیش از استارت
۱۴۶	 پرسش‌ها

فصل ۵. چند مثال از مدارهای پلوموئیدرولیکی موتورهای سوخت مایع

۱۵۰	 ۵-۱. موتورهای سوخت مایع سیکل باز
۱۵۰	 موتور RD-107
۱۵۴	 موتور RD-119
۱۵۸	 موتور RD-111
۱۶۲	 موتور F-1
۱۶۷	 موتور J-2

۱۷۱	۲-۵. موتورهای سوخت مایع سیکل بسته
۱۷۱	موتور RD-253
۱۷۵	موتور SSME
۱۸۲	موتور RL-10

فصل ۶. ساختارهای مختلف محفظه

۱۹۰	۱-۶. ویژگی‌های ساختاری محفظه و نازل
۱۹۳	انواع مسیرهای خنک کاری
۱۹۵	انواع روش‌های ورود سیال خنک‌کن به محفظه
۱۹۶	طرح‌های کالکتور ورود سیال خنک‌کن
۱۹۶	خنک‌کاری داخلی
۱۹۷	محفظه‌های کروگیتی و فینی
۲۰۰	مقایسه اتصالات کروگیتی و فینی
۲۰۱	۲-۶. تکنولوژی تولید قطعات و اجزای محفظه‌ی موتورها
۲۰۱	خم‌کاری - رولینگ پوسته‌ها
۲۰۱	پرسکاری پوسته‌ها
۲۰۲	روش تولید کالکتورها یا منیفولدها
۲۰۲	فرزکاری پوسته‌های فینی
۲۰۳	پرسکاری ورق‌های کروگیت
۲۰۴	استفاده از رینگ‌های واسط جهت اتصال دو بخش غیر هم‌جنس
۲۰۵	عملیات بریزینگ
۲۰۶	حل مشکل گرفتگی ناشی از اضافه بودن ماده‌ی پرکننده در بریز
۲۰۶	فرآیند برگرداندن لبه‌ها در پوسته‌های محفظه
۲۰۷	مراحل تکمیلی عملیات بریزینگ
۲۰۸	نکات تولیدی اشکال خاص، در محفظه
۲۱۰	جوشکاری پوسته‌های محفظه
۲۱۱	اتصال مجموعه‌ی بدنه به کلاهدک انژکتوری
۲۱۱	استفاده از آلیاژهای تیتانیوم در پوسته‌های محفظه
۲۱۳	استفاده از رینگ واسط در اتصال مجموعه‌ی سر به مجموعه‌ی بدنه
۲۱۳	۳-۶. ساختار کمربندهای خنک‌کاری غشایی و منیفولدهای آن‌ها

۲۱۳	کلیات
۲۱۴	دبی کمربند خنک کاری غشایی
۲۱۵	ساختارهای مختلف کمربند خنک کاری غشایی
۲۱۹	۴-۶. کالکتورها یا منیفولدهای ورود پیشراشه
۲۲۱	روش تولید کالکتورها
۲۲۳	توصیه‌هایی برای اندازه‌های اصلی کالکتورها
۲۲۴	۵-۶. ویژگی ساختار محفظه‌های هیدروژنی - اکسیژنی
۲۲۴	مثال اول: محفظه موتور SSME
۲۲۷	مثال دوم: محفظه یک موتور سیکل بسته هیدروژنی - اکسیژنی
۲۲۹	پرسش‌ها

فصل ۷. ساختار کلاهک انژکتوری در محفظه‌ها

۲۳۴	۱-۷. ویژگی‌های ساختاری کلاهک انژکتوری
۲۳۸	۲-۷. نمونه‌هایی از ساختار کلاهک انژکتوری (مجموعه‌ی سر)
۲۴۳	۳-۷. لوله اتصالات، مجموعه‌ها و قطعات تکمیلی مجموعه‌ی سر
۲۴۵	پرسش‌ها

فصل ۸. مولد گاز سوخت مایع و محفظه‌های کم‌پیشران

۲۵۰	۱-۸. مولد گاز موتورهای سوخت مایع
۲۵۰	مولد گاز سوخت مایع دومولفه‌ای
۲۵۱	مولد گاز سوخت مایع در موتور سیکل بسته
۲۵۲	مولد گاز موتور SSME
۲۵۴	مولد گاز موتور RD-253
۲۵۵	نتایج بخشی از تست‌های انجام‌شده بر روی مولد گازها در آمریکا
۲۵۶	مولد گازهای سوخت مایع در موتورهای سیکل باز
۲۵۶	پاشش در مولد گازها موتورهای سیکل باز
۲۵۸	مولد گازهای دوناچه‌ای
۲۵۹	یک حالت ویژه

۲۵۹	مولدگازهای تک مولفه
۲۶۱	یک نمونه از تجزیه‌ی گرمایی
۲۶۳	کاتالیزور مولدگاز تجزیه‌ای
۲۶۴	مولدگاز موتور سفینه‌ی فضایی شاتل
۲۶۵	چند نکته از تجزیه‌ی حرارتی هیدرازین
۸-۲. محفظه‌ی موتورهای سوخت مایع با نیروی پیشران کم	
۲۶۶	(محفظه‌های کم پیشران)
۲۶۶	محفظه‌های کم پیشران دو مولفه
۲۶۶	انژکتورهای مورد استفاده در محفظه‌های کم پیشران
۲۶۸	مواد مورد استفاده در محفظه‌های کم پیشران
۲۶۹	خنک‌کاری در محفظه‌های کم پیشران
۲۷۰	الف. خنک‌کاری بین جداره‌ای
۲۷۰	ب - خنک‌کاری با مواد فنا شونده
۲۷۲	ج - خنک‌کاری تشعشعی
۲۷۴	د - حفاظت حرارتی با استفاده از پوشش‌های عایق
۲۷۵	د - محفظه‌ی کم پیشران با خنک‌کاری داخلی یا فیلم خنک‌کننده
۲۷۵	و - خنک‌کاری‌های ترکیبی و خاص
۲۷۷	دیگر خصوصیات محفظه‌های کم پیشران
۲۷۹	محفظه‌های کم پیشران تک مولفه
۲۸۵	دیگر ویژگی‌های محفظه‌های کم پیشران تک مولفه
۲۸۶	پرسش‌ها

فصل ۹. سازه‌ی محفظه و مولدگاز

۲۹۰	۹-۱. رژیم‌های کاری و بارگذاری‌ها
۲۹۱	رژیم‌های کاری محفظه
۲۹۱	۱- رژیم تست هیدرولیک
۲۹۲	۲- رژیم نامی محفظه
۲۹۴	۳- رژیم استارت محفظه
۲۹۴	۴- رژیم توقف یا خاموشی

۲۹۴	۲-۹. دیدگاه کلی در محاسبات سازه‌ای محفظه و ترتیب انجام محاسبات
۲۹۶	۳-۹. «توان تحمل بار» در پوسته‌های محفظه
۲۹۶	تعاریف
۲۹۷	فرضیات
۲۹۸	معادلات حاکم
۲۹۹	روش حل معادلات
۳۰۰	بررسی نمودار $P_{gas} - \varepsilon_{y,t}$
۳۰۲	یافتن نقطه‌ی $P_{gas,ult}$ با استفاده از نمودار
۳۰۲	۴-۹. استحکام محلی بدنه‌ی محفظه
۳۰۲	ویژگی‌های مدل محاسباتی
۳۰۴	استحکام محلی بدنه‌های نوع «پوسته‌های به هم پیوسته با اتصال زیاد»
۳۰۵	استحکام محل بریز
۳۰۵	استحکام کروگیت یافتن
۳۰۶	استحکام محلی پوسته‌ها
۳۰۷	استحکام محلی در محفظه‌های لوله‌ای
۳۰۷	۵-۹. محاسبات سازه‌ای مجموعه‌ی سر (یا کلاهک انژکتوری)
۳۰۷	توصیف صورت مسئله
۳۰۹	بارهای وارد بر مجموعه‌ی پاشش
۳۱۰	مدل محاسبات سازه‌ای مجموعه‌ی پاشش
۳۱۱	معادلات سازه‌ای حاکم بر مجموعه‌ی پاشش
۳۱۶	سازه‌ی عدسی
۳۱۷	پرسش‌ها

فصل ۱۰. سامانه‌ی توربوپمپ

۳۲۲	۱-۱۰. الزامات عمومی سامانه‌ی توربوپمپ
۳۲۴	۲-۱۰. انواع پیکره‌بندی اجزای سامانه‌ی توربوپمپ
۳۲۸	تعیین سرعت زاویه‌ای توربوپمپ
۳۲۹	معیارهای انتخاب طرح
۳۲۹	معیارهای تقسیم‌بندی سامانه‌های توربوپمپ

۳۳۳	سیستم راه‌انداز سامانه‌ی توربوپمپ
۳۳۴	۳-۱۰. مشخصات کیفی سازه سامانه توربوپمپ
۳۳۷	راه‌اندازی پمپ‌های دور پایین
۳۳۸	اصلی‌ترین مشخصه‌های کیفی ساختار یک توربوپمپ
۳۳۹	۴-۱۰. ساختار پمپ گریز از مرکز مارپیچ دار و پارامترهای آن
۳۴۴	انواع چرخ‌رانش‌های گریز از مرکز
۳۴۸	۵-۱. سازه توربین‌های گازی و پارامترهای اصلی آن‌ها
۳۵۵	۶-۱۰. مجموعه‌های پمپ کمکی (بوستر پمپ)
۳۵۹	۷-۱۰. ساختار نشست‌بندهای سامانه‌های توربوپمپ
۳۵۹	دسته‌بندی و الزامات فنی آن‌ها
۳۶۲	نشست‌بند تماسی
۳۶۸	نشست‌بندهای بدون تماس
۳۷۴	نشست‌بندهای مرکب
۳۷۸	۸-۱۰. بالبرینگ‌های غلتشی (ساجمه‌ای) روتورهای توربوپمپ
۳۸۵	۹-۱۰. یاتاقان‌های هیدرواستاتیکی و هیدرودینامیکی
۳۸۷	۱۰-۱۰. ویژگی تکیه‌گاه‌های توربوپمپ در دماهای پایین و در خلاء
۳۸۹	۱۱-۱۰. ساختار اتصالات المان‌های سامانه‌ی توربوپمپ
۳۹۱	۱۲-۱۰. گیربکس‌های توربوپمپ
۳۹۳	پرسش‌ها

فصل ۱۱. استحکام سازه‌ای و ارتعاشات در اجزای سامانه‌ی توربوپمپ

۳۹۸	۱-۱۱. بارهای وارده بر اجزای سازه
۳۹۹	الف - بارهای نیرویی
۳۹۹	ب - بارهای دمایی
۴۰۱	۲-۱۱. نیروهای محوری اعمالی بر روتور سامانه‌ی توربوپمپ و روش‌های
۴۰۵	ساختاری کاهش آن

- محاسبه‌ی مولفه‌های نیروی محوری ۴۰۵
- مارپیچ و چرخ رانش پمپ ۴۰۶
- چرخ رانش توربین گازی ۴۰۹
- دیسک نشت‌بند هیدرودینامیکی ۴۱۱
- جبران‌سازی نیروهای محوری ۴۱۲
- تجهیزات دشارژ خودکار ۴۱۴
- ۳-۱۱. استحکام سازه‌ای پره‌های روتور توربین گازی ۴۱۶
- تنش‌های ایجاد‌ی در پره‌های روتور ۴۱۶
- تنش‌های کششی ناشی از نیروهای گریز از مرکز ۴۱۹
- تنش‌های خمشی حاصل از نیروهای دینامیک گاز ۴۲۲
- خمش پره‌ها در اثر نیروهای گریز از مرکز ۴۲۶
- تعیین ضریب اطمینان در مقطع بالای پره روتور ۴۲۷
- ۴-۱۱. استحکام دیسک‌های توربین گازی ۴۲۸
- بارهای اعمالی بر دیسک و شمای محاسباتی ۴۲۸
- محاسبه دیسک‌ها به روش المان‌های حلقوی ۴۳۲
- معادلات حاکم ۴۳۲
- روش محاسبه ۴۳۴
- ویژگی‌های محاسبه دیسک‌های توربین‌های شعاعی و پمپ‌های گریز از مرکز ۴۳۶
- تعیین ضرایب اطمینان استحکام دیسک‌ها ۴۳۷
- ۵-۱۱. مفهوم سرعت زاویه‌ای بحرانی روتور در توربوپمپ ۴۳۸
- ۶-۱۱. دور بحرانی محور سبک (کم‌وزن) همراه با یک دیسک ۴۴۱
- محورهای صلب و انعطاف‌پذیر ۴۴۱
- ۷-۱۱. مفهوم لنگ‌زدن روتور ۴۴۴
- تاثیر گشتاور ژيروسکوپیک بر سرعت‌های زاویه‌ای بحرانی روتور ۴۴۴
- ۸-۱۱. ویژگی‌های محاسبه‌ی دورهای بحرانی روتور ۴۴۸
- سامانه توربوپمپ همانند سیستم‌های با چند درجه آزادی ۴۴۸
- تشکیل مدل محاسباتی ۴۴۸
- روش دترمینان فرکانسی ۴۵۰
- ۹-۱۱. روش‌های مقابله با رژیم‌های بحرانی روتورها ۴۵۲

..... ۴۵۳	جابجایی از رژیم‌های تشدید
..... ۴۵۷	میرایی ارتعاشات روتور
..... ۴۵۸	پرسش‌ها

فصل ۱۲. ساختار مجموعه‌های اصلی کنترل موتور

..... ۴۶۳	۱-۱۲. شیرآلات
..... ۴۶۳	ماموریت
..... ۴۶۴	دفعات تکرار عملکرد
..... ۴۶۴	نوع یا سیستم محرک شیرآلات
..... ۴۶۵	وضعیت نرمال شیر
..... ۴۷۱	۲-۱۲. رگولاتورها و دروسل‌ها
..... ۴۷۷	پرسش‌ها

فصل ۱۳. اجزای سیستم دمش

..... ۴۸۲	۱-۱۳. مخزن گاز فشرده
..... ۴۸۲	ویژگی‌های عمومی
..... ۴۸۴	انتخاب نوع گاز سیستم دمش
..... ۴۸۴	۱- تبخیر مولفه‌های پیش‌ران
..... ۴۸۵	۲- دمای دیواره‌ی باک
..... ۴۸۵	۳- چگالش بخار
..... ۴۸۵	۴- حلالیت گاز دمش
..... ۴۸۵	۵- فشرده‌گی گاز دمش
..... ۴۸۵	۶- واکنش‌های شیمیایی
..... ۴۸۵	۷- آشفته‌گی گاز دمش
..... ۴۸۵	استفاده از هلیوم به عنوان گاز دمش
..... ۴۸۶	ویژگی‌های اصلی گاز دمش
..... ۴۸۷	۲-۱۳. تجهیزات جداکننده
..... ۴۸۷	خصوصیات عمومی تجهیزات جداکننده
..... ۴۸۸	جداکننده‌های پستونی

۴۸۹	جداکننده‌های سلیفونی
۴۸۹	کیسه‌های ارتجاعی جداکننده
۴۹۰	دو نمونه از کیسه‌های ارتجاعی جداکننده
۴۹۱	جداکننده‌های دیافراگمی
۴۹۳	تجهیزات توده ساز
۴۹۴	۱۳-۳. تجهیزات جانبی سیستم دمش
۴۹۹	پرسش‌ها

فصل ۱۴. چیدمان سامانه‌ی پیشران، موتور و اجزاء آن‌ها

۵۰۴	۱۴-۱. چیدمان سامانه‌ی پیشران و موتور سوخت مایع
۵۰۴	ویژگی‌های عمومی
۵۰۶	تعداد موتورهای سوخت مایع در سامانه‌ی پیشران
۵۰۷	استفاده از ساختار بلوکی
۵۰۸	اتصال موتورهای سوخت مایع به بخش انتهایی موشک
۵۰۸	تعداد محفظه‌ها در موتورهای توربوپمپی
۵۰۹	تعداد توربو پمپ‌ها و مولد گازها و نحوه‌ی جاسازی آن‌ها در موتور
۵۱۱	باک‌های پیشران
۵۱۲	۱۴-۲. اتصالات لوله‌ها، المانها و زیرمجموعه‌ها
۵۱۲	ویژگی عمومی لوله‌ها، المان‌ها و زیرمجموعه‌ها
۵۱۳	اتصالات جداشونده
۵۱۵	انواع واشرهای نشست
۵۱۷	اتصالات جدانشدنی
۵۲۰	۱۴-۳. لوله‌ها، شلنگ‌ها و سلیفون‌ها
۵۲۰	لوله‌های صلب
۵۲۳	«لوله‌ی هادی گاز»
۵۲۴	لوله‌های انعطاف‌پذیر
۵۲۷	۱۴-۴. اجزای مسیر انتقال پیشران‌های مایع و گازها
۵۲۷	فیلترها
۵۲۸	میراکنده‌های ارتعاشات

۵۲۹	 ژینگلورها و اوریفیس‌ها
۵۳۰	 ۱۴-۵. رام‌ها، سیستم‌های تعلیق و دسته‌ها
۵۳۰	 رام‌ها
۵۳۲	 سیستم تعلیق
۵۳۳	 دسته‌های نگهدارنده
۵۳۴	 پرسش‌ها

فصل ۱۵. چشم‌انداز توسعه‌ی موتورهای سوخت مایع

۵۳۸	 ۱۵-۱. پیشران‌های جدید و زمینه‌های کاربرد آن‌ها
۵۴۱	 ۱۵-۲. استفاده از هوای پیرامون به عنوان اکسیدکننده
۵۴۱	 ۱۵-۳. افزایش فشار محفظه‌ی احتراق
۵۴۳	 ۱۵-۴. کاهش جرم خشک سامانه‌ی پیشران
۵۴۳	 ۱۵-۵. کاهش ابعاد سامانه‌ی پیشران
۵۴۴	 ۱۵-۶. افزایش طول عمر سامانه‌ی پیشران و موشک حامل
۵۴۴	 ۱۵-۷. افزایش نیروی پیشران تک موتورها
۵۴۵	 ۱۵-۸. افزایش تراست سامانه‌ی پیشران مرحله‌ی اول در موشک‌های حامل
۵۴۶	 ۱۵-۹. موشک‌های حامل با سامانه‌های پیشران دو رژیمی
۵۴۷	 ۱۵-۱۰. ماهواره‌ها و ماشین‌های فضایی
۵۴۸	 پرسش‌ها

مقدمه

مطالعات تنوریک موتورهای سوخت مایع به ابتدای قرن بیستم باز می‌گردد، اما طراحی و آزمایش عملیاتی این دسته از موتورها در دهه‌های ۱۹۲۰ و ۱۹۳۰ آغاز گردید و عصر فضا چند دهه بعد شروع شد. پیش‌زمینه‌های لازم برای ورود بشر به عصر فضا را، کشورهای پیشرو فراهم آورده‌اند. این الزامات شامل ایجاد تنوری‌ها، انجام تحقیقات تنوری، مدل‌سازی، نمونه‌سازی و سرانجام ورود به عرصه‌ی تحقیقات و صنعت فضایی است.

ایجاد و گسترش تحقیقات فضایی در کشور ما نیز منوط به تربیت مهندسين، متخصصين و دانشمندان زبده می‌باشد. در این راستا تدوین، تالیف و ترجمه‌ی کتاب‌های تخصصی از گام‌های بنیادین خواهد بود.

در حال حاضر کتاب‌های آموزشی و کمک آموزشی بسیاری در زمینه‌ی «تنوری موتورهای سوخت مایع» در دنیا چاپ و منتشر گردیده است، اما کتاب‌های آموزشی که به صورت تخصصی به «طراحی ساختاری و نیز سازه‌ی موتورهای سوخت مایع» پرداخته باشد به ندرت یافت می‌شود.

در کتاب حاضر، مولفین با مبنا قرار دادن یک کتاب مرجع روسی [۸] و استفاده از مراجع مناسب دیگر و نیز تجارب طراحی به دست آمده حین کار، در جهت ارائه کتابی علمی-فنی و تخصصی، با عنوان «طراحی موتورهای سوخت مایع؛ ساختار و سازه» بر آمده‌اند.

به طور کلی کتاب در سه بخش تنظیم گردیده است. بخش نخست - که شامل پنج فصل اول کتاب است - خواننده را به صورت «سیستمی» با موتورهای سوخت مایع آشنا می‌کند سپس در بخش دوم (فصل‌های ۶ تا ۱۲) ساختار و سازه‌ی اجزای موتور بررسی می‌شود و در نهایت بخش سوم (فصل‌های ۱۳ تا ۱۵) به اجزای سیستمی سامانه‌ی پیشران و موتور، می‌پردازد. اما، مباحث ارایه شده در هر فصل به ترتیب زیر می‌باشد:

در فصل اول، نخست به مفاهیم کلی و اصطلاحات رایج فنی، همچنین انواع اصلی موتورهای موشکی و دسته‌بندی آن‌ها و پارامترهای اصلی موتورهای سوخت مایع پرداخته شده است. در این فصل الزامات اساسی و ویژگی‌های بهینه‌سازی موتورها بیان شده و اجزای اصلی تشکیل دهنده‌ی موتورهای سوخت مایع معرفی گردیده‌اند.

در فصل دوم با بررسی مدارهای مختلف موتورهای سوخت مایع، ملاحظات اساسی انتخاب سیستم تغذیه بیان گردیده است.

سیستم‌های هدایت و کنترل بردار نیروی پیشران و نیز روش‌های کنترل و تنظیم پارامترهای موتور در فصل سوم مورد بحث قرار گرفته است. در این فصل به محث دماش باک‌ها نیز پرداخته شده است.

فصل چهارم به فرآیند استارت و خاموشی موتورهای سوخت مایع و ملاحظاتی که بایستی حین عملکرد موتور در این رژیم‌ها مدنظر قرار گیرد، می‌پردازد.

در فصل پنجم، خواننده با مثال‌هایی واقعی از طرح‌های مختلف پرمویدرولیکی موتورهای سوخت مایع آشنا می‌شود و دید او را درباره‌ی طرح‌های ممکن برای این موتورها، باز می‌نماید. ساختار و سازه‌ی محفظه احتراق و ویژگی‌های ساخت و تولید اجزای سازنده‌ی آن نظیر: پوسته‌ی محفظه، کالکتور، کلاهک انژکتوری (یا مجموعه‌ی پاشش) و انژکتورها در دو فصل ششم و هفتم به تفصیل مورد بحث قرار گرفته است.

در فصل هشتم در مورد ساختارهای متنوع مولد گاز و محفظه‌های سوخت مایع کم‌پیشران*، همچنین ملاحظات طراحی ساختاری آن‌ها صحبت شده است.

فصل نهم به مسایل استحکامی محفظه احتراق و مولد گاز پرداخته و محاسبات سازه‌ای اجزای این مجموعه‌ها را از دیدگاه بارهای وارده و مقاومت مصالح مورد تعمق قرار داده است.

سامانه‌ی توربوپمپ از دیدگاه الزامات مربوطه، ساختار، پیکربندی و اجزای متشکله در فصل‌های دهم و یازدهم بررسی گردیده است. در این دو فصل، انواع تکیه‌گاه‌ها و سیستم‌های نشست‌بندی و گیربکس‌های مورد استفاده در این سامانه نیز، مورد بررسی قرار گرفته و در مورد

* Liquid propellant engine with small-scale thrust (LPEST)

بارهای وارده بر المان‌های سامانه‌ی توربوپمپ و محاسبات سازه‌ای اجزاء و ارتعاشات سازه‌ی توربوپمپ بحث شده است.

فصل دوازده به معرفی ساختار انواع شیرآلات مورد استفاده در موتورهای سوخت مایع اختصاص یافته است و سعی شده تا به صورت «نوعی»، برخی از آن‌ها بررسی گردد.

موضوع فصل سیزدهم، ساختار باک‌ها، مخازن و بالون‌های دمش گاز و اجزای سازنده آن‌هاست که این‌ها جزئی از سامانه‌ی پیشران یک جسم پرنده محسوب می‌شود.

پیکره‌بندی کلی سامانه‌ی پیشران و چیدمان اجزای آن (مانند موتور و باک‌ها) و همچنین ساختار قطعات و اجزای عمومی لازم برای مونتاژ این مجموعه‌ها و نیز نحوه‌ی اتصال اجزای مختلف موتور به یکدیگر، در فصل چهاردهم بررسی گردیده است.

بالاخره در **فصل پانزدهم** برای آشنایی اولیه‌ی خوانندگان با جهت‌گیری‌های اصلی توسعه‌ی موتورهای نسل آینده‌ی سوخت مایع، نکاتی هر چند کوتاه، مطرح شده است.

در ابتدای هر فصل و به منظور آشنایی با انواعی از موتورهای سوخت مایع و سازندگان آن‌ها، حداقل «یک موتور خاص» معرفی گردیده است. به طور کلی، معرفی این موتورها نمایانگر تاریخچه‌ی تکامل موتورهای سوخت مایع از بدو پیدایش آن‌ها تا به امروز است؛ همچنین با ارایه‌ی پارامترهای فنی این موتورها امکان مقایسه آن‌ها نیز، فراهم گردیده است.

در تالیف این کتاب سعی شده است تا حد امکان و تا جایی که افراط محسوب نگردد به جای واژه‌های بیگانه از واژه‌های جایگزین فارسی - که در صنعت هوافضا و دانشگاه‌ها معمول است بهره‌گیری شود. در عین حال، کلمات تخصصی به زبان انگلیسی جهت راهنمایی خواننده نیز، ارایه شده‌اند.

سخن آخر آن‌که، این کتاب علاوه بر برخورداری از روندی آکادمیک و آموزشی به منظور تدریس در دانشگاه‌ها، با در نظر گرفتن ملاحظات فنی و طراحی کاربردی مهندسی، امکان استفاده به عنوان مرجعی کارآ در مراکز طراحی و صنعتی موتورهای سوخت مایع را نیز، داراست.

مؤلفین از خوانندگان محترم درخواست می‌نمایند تا با ارایه‌ی پیشنهادات و انتقادات سازنده خود به پست الکترونیکی LRE_book@yahoo.com، در جهت رفع اشتباهات و نواقص احتمالی و نیز

تکمیل مباحث کتاب، بر غنای علمی آن بیافزایند.