



سیستم‌های روانکاری بانگرس بر موتور ومتعلقات هلیکوپتر

گردآورندگان :

حمید وفاخواه

(کارشناسی ارشد مهندسی هوافضا - دانشگاه صنعتی شریف)

محمد رضا رستمی

(شرکت پشتیبانی و نوسازی هلیکوپترهای ایران - پنها)

کتاب حاضر بر گرفته‌ای است از:

HANDBOOK *of*
LUBRICATION
and **TRIBOLOGY**
VOLUME II
Theory and Design
SECOND EDITION

Edited by **Robert W. Bruce**

CRC Press
Taylor & Francis Group
6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300
Boca Raton, FL 33487-2742

© 2012 by Taylor & Francis Group, LLC
CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business

No claim to original U.S. Government works
Version Date: 20120418

International Standard Book Number-13: 978-1-4200-6909-9 (eBook - PDF)



CRC Press
Taylor & Francis Group
Boca Raton London New York

CRC Press is an imprint of the
Taylor & Francis Group, an Informa business

مسئولیت گردآوری و صحت مطالب فارسی بر عهده گردآورندگان است .

سرشناسه : وفاخواه، حمید، ۱۳۶۸ -
عنوان و نام پدیدآور : سیستم‌های روانکاری (با نگرشی بر موتور و متعلقات هلیکوپتر)/
گردآورندگان: حمید وفاخواه، محمدرضا رستمی؛ به سفارش شرکت
پشتیبانی نوسازی هلیکوپترهای ایران (پنها).
تهران: همای علم، ۱۳۹۳.
۲۶۰ ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک : 978-600-94515-4-8
وضعیت فهرست نویسی : فیبا
یادداشت : بخشی از کتاب حاضر ترجمه قسمتی از جلد دوم کتاب
"Handbook of lubrication and tribology" است.
موضوع : تجهیزات روغن‌کاری
موضوع : هلیکوپترها -- موتورها -- تجهیزات روغن‌کاری
موضوع : روغن و روغن‌کاری
شاسه افزوده : رستمی، محمدرضا، ۱۳۴۷ -
شاسه افزوده : شرکت پشتیبانی و نوسازی هلیکوپترهای ایران
رده بندی کنگره : ۱۳۹۳ س ۷/و ۷۹/۱۰۷ TJ
رده بندی دیویی : ۶۳۹/۱۳۴۶
شماره کتابشناسی ملی : ۲۵۴۵۹۲۵



انتشارات همای علم

Homa Science Publishing
www.homascience.com

نام کتاب : سیستم‌های روانکاری (با نگرشی بر موتور و متعلقات هلیکوپتر)

ناشر : انتشارات همای علم

گردآورندگان : حمید وفاخواه - محمدرضا رستمی

ویراستار ادبی : نوشین چنگیزی آشتیانی

ویراستار علمی : فرشید بزمی

صفحه‌آرایی : هفت‌رنگ گرافیک (شیرین حمیدی - محسن پورحسین)

طرح روی جلد : هفت‌رنگ گرافیک (محسن پورحسین)

لیتوگرافی : رایید گرافیک

نوبت چاپ : اول - تابستان ۱۳۹۳

چاپ : جام طلایی

صحافی : کیمیا

ناظر فنی چاپ : محسن پورحسین

تیراژ : ۵۰۰ جلد

قیمت : ۱۸۰۰۰۰ ریال

شابک : ۹۷۸-۶۰۰-۹۴۵۱۵-۴-۸

به سفارش شرکت پشتیبانی و
نوسازی هلیکوپترهای ایران (پنها)



تقدیم به

همسر

که بودنش همه‌ی بود و نبود من است

«حمید وفاخواه»

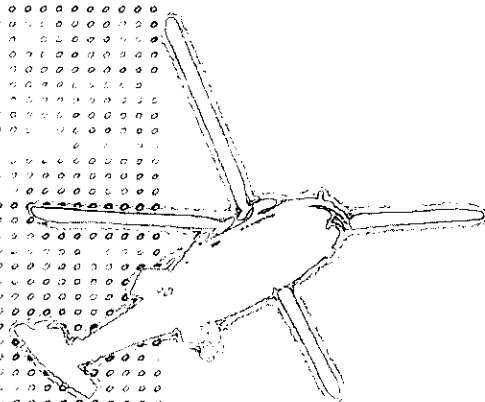
تقدیم به

همسر مهربان و فداکارم

که در تمام سختی‌های زندگی مشوق و همراهم بود

«محمد رضا رستمی»

www.ketab.ir



فهرست

۱۵	پیشگفتار مدیرعامل
۱۷	پیشگفتار گردآوردندگان

فصل اول

۱۹	کلیات
۱۹	۱-۱ تاریخچه‌ای از مکانیک سیالات
۲۱	۲-۱ سیستم اندازه‌گیری SI
۲۱	۳-۱ تعریف سیال
۲۱	۱-۳-۱ جامدات
۲۲	۲-۳-۱ سیالات
۲۲	۴-۱ خواص سیال
۲۲	۱-۴-۱ جرم مخصوص
۲۳	۲-۴-۱ حجم مخصوص
۲۳	۳-۴-۱ وزن مخصوص
۲۵	۵-۱ تراکم پذیری
۲۵	۱-۵-۱ ضریب تراکم پذیری
۲۶	۲-۵-۱ ضریب ارتجاع
۲۷	۶-۱ فشار بخار
۲۸	۷-۱ لزجت
۲۹	۱-۷-۱ آزمایش‌های کوات





۳۰	۱-۷-۲ تغییرات ضریب لزجت بر حسب دما
۳۲	۱-۷-۳ تغییرات ضریب لزجت بر حسب فشار
۳۵	۱-۷-۴ انواع سیال
۳۵	۱-۸ تنش در یک نقطه
۴۰	۱-۹ فشار در یک نقطه
۴۲	۱-۹-۱ اثبات قانون پاسکال
۴۳	۰-۰ کشش سطحی و موینگی

فصل دوم

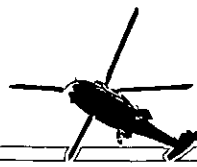
۴۹	جریان سیال تراکم‌ناپذیر
۴۹	الف) جادریان آرام و متلاطم
۴۹	ب) حرکت سیال
۵۰	ج) قشر حد
۵۰	۲-۱ آزمایش رینولدز
۵۴	۲-۲ جریان‌های داخلی و خارجی
۵۵	۲-۳ حرکت سیال حقیقی
۵۶	۲-۳-۱ تنش در سیال لزج
۵۷	۲-۳-۲ فرضیه استوکس
۵۸	۲-۳-۳ فرضیه نیوتون
۶۰	۲-۳-۴ معادلات ناویر استوکس
۶۱	۲-۳-۵ معادلات دینامیک سیال‌ها
۶۳	۲-۴ جریان آرام در لوله ای با مقطع دایروی
۶۳	۲-۴-۱ توزیع سرعت
۶۶	۲-۴-۲ تنش برشی و ضریب اصطکاک
۶۸	۲-۵ جریان آرام بین دو صفحه‌ای موازی ثابت
۷۳	۲-۶ جریان کوات
۷۷	۲-۷ روانکاری
۸۲	۲-۸ مشخصه‌های جریان متلاطم
۸۲	۲-۸-۱ متوسط گیری
۸۴	۲-۸-۲ تلاطم



- ۸۴ ۲-۸-۳ همبستگی
- ۸۵ ۲-۸-۴ معادلات بقای جرم و ناویر - استوکس
- ۸۸ ۲-۸-۵ طول اختلاط
- ۸۸ ۲-۸-۶ نظریه بوسینسک
- ۸۹ ۲-۸-۷ نظریه پرانتل
- ۹۱ ۲-۸-۸ نظریه فون کارمن
- ۹۲ ۲-۸-۹ سرعت در جریان متلاطم
- ۹۵ ۲-۹-۱ جریان متلاطم در لوله با مقطع دایره‌ای
- ۹۵ ۲-۹-۱۱ زبری
- ۹۶ ۲-۹-۲ توزیع سرعت در جریان متلاطم
- ۹۷ ۲-۹-۳ ضریب اصطکاک
- ۱۰۰ ۲-۹-۴ چارت مودی
- ۱۰۶ ۲-۱۰ افت‌های موضعی در لوله‌ها

فصل سوم

- ۱۰۹ یاتاقان‌های غلتشی
- ۱۱۰ ۳-۱ انواع یاتاقان‌های غلتشی
- ۱۱۴ ۳-۲ عمر یاتاقان
- ۱۱۵ ۳-۳ رابطه «بار - عمر یاتاقان» در یک قابلیت اعتماد ثابت
- ۱۱۷ ۳-۴ بقاء یاتاقان: رابطه «قابلیت اعتماد - عمر»
- ۱۱۷ ۳-۵ رابطه «بار - عمر - قابلیت اعتماد»
- ۱۱۹ ۳-۶ بارگذاری ترکیبی شعاعی و محوری
- ۱۳۰ ۳-۷ انتخاب یاتاقان‌های ساچمه‌ای و غلتک استوانه‌ای
- ۱۳۳ ۳-۸ انتخاب یاتاقان‌های غلتک مخروطی
- ۱۳۴ ۳-۸-۱ شکل ظاهری یاتاقان
- ۱۴۲ ۳-۹ ارزیابی شایستگی برای یاتاقان‌های غلتشی انتخابی
- ۱۴۳ ۳-۹-۱ قابلیت اطمینان
- ۱۴۵ ۳-۱۰ روانکاری
- ۱۴۵ ۳-۱۱ نصب و پوشش یاتاقان‌ها
- ۱۴۸ ۳-۱۱-۱ بیش باردهی



۱۴۹	۲-۱۱-۳ همراستا کردن یاتاقان‌ها
۱۵۰	۳-۱۱-۳ آب‌بندها

فصل چهارم

۱۵۱	محل‌های نصب یاتاقان‌ها
۱۵۱	۱-۴ ثابت کردن رینگ‌های بیرینگ
۱۵۳	۱-۱-۴ چیدمان‌های بیرینگ قابل تنظیم و شناور
۱۶۵	۲-۱-۴ ابعاد تکیه‌گاه (استاندارد ۵۴۱۸ DIN)
۱۶۹	۲-۴ طراحی قطعات در برگیرنده بیرینگ‌ها و بدنه‌ها
۱۷۵	۳-۳-۳ سرعت و نقاط مهار نشیمنگاه
۱۷۹	۳-۳-۴ محاسبه فشار مماسی بدنه نشیمنگاه
۱۸۴	۳-۳-۴ تست زاویه به یک بدنه نشیمنگاه
۱۸۹	۳-۳-۴ نشیمنگاه‌های بیرینگ‌های اعوجاج یافته
۱۹۰	۴-۴ آب‌بندی بیرینگ
۱۹۰	۱-۴-۴ حلقه‌های آب‌بندی
۱۹۳	۲-۴-۴ حلقه‌های آب‌بندی تمام
۱۹۹	۵-۴ نصب کردن و بیرون آوردن

فصل پنجم

۲۲۵	پمپ‌های روغن
۲۲۶	۱-۵ جریان پمپ و فشار پمپ
۲۲۹	۲-۵ توان و گشتاور محرکه‌ی پمپ
۲۳۱	۳-۵ بازده پمپ
۲۳۲	۴-۵ انواع پمپ‌ها
۲۴۲	۵-۵ پمپ‌های با جبران‌کننده‌ی فشار
۲۴۳	۶-۵ کاویتاسیون و نفوذ هوا
۲۴۴	۷-۵ نمادهای گرافیکی
۲۴۵	۸-۵ مشخصات پمپ‌ها

فصل ششم

۲۵۱	شیرها
-----	-------



۲۵۱	۱-۶ کنترل در سیستم‌های روغنکاری
۲۵۱	۲-۶ شیر یک طرفه
۲۵۴	۳-۶ شیر با ساچمه شناور - شیر ماکویی
۲۵۴	۴-۶ شیرهای کنترل جهت دو راهه
۲۶۳	۶-۶ شیرهای کنترل جهت چهار راهه
۲۷۲	۷-۶ روش‌های تحریک شیرهای کنترل جهت
۲۷۵	۸-۶ مدارهای هیدرولیک
۲۸۲	۹-۶ روش‌های نصب شیرهای کنترل جهت
۲۸۵	۱۰-۶ مشخصات شیرهای کنترل جهت
۲۸۷	۱۰-۶ کنترل در سیستم‌های روغنکاری
۲۸۷	۱۱-۶ شیرهای کمینا
۲۹۲	۱۲-۶ شیرهای تخلیه فشار
۲۹۴	۱۳-۶ شیرهای کاهنده فشار
۲۹۶	۱۴-۶ نصب شیرهای کنترل فشار
۲۹۷	۱۵-۶ مشخصات شیرهای کنترل فشار

فصل هفتم

۲۹۹	شیرهای کنترل جریان
۲۹۹	۱-۷ انواع شیرهای کنترل جریان
۳۰۳	۲-۷ ضریب جریان
۳۰۴	۳-۷ مشخصات شیرهای کنترل جریان

فصل هشتم

۳۰۷	قطعات فرعی در سیستم‌های روانکاری
۳۰۷	۱-۸ مخازن هیدرولیک
۳۱۰	۲-۸ مبدل‌های حرارتی
۳۱۲	۳-۸ فیلترها
۳۱۹	۴-۸ وسایل اندازه‌گیری
۳۲۴	۵-۸ فیتینگ‌ها و مجراهای انتقال سیال
۳۳۳	۶-۸ یاتاقان‌ها و حلقه‌های آب‌بندی

ضمیمه

۳۴۳	۱-ا بررسی سیستم روانکاری موتور LTC48-8D
-----	---



۳۴۴	 مسیر رفت روغن
۳۴۴	 مسیر برگشت روغن
۳۴۵	 خنک‌سازی روغن
۳۴۷	 تخلیه‌ی هوای همراه روغن به بیرون
۳۴۸	 ۲-۸ بررسی سیستم روانکاری موتور توربوشفت ۲۵۳
۳۴۸	 مسیر رفت روغن
۳۴۹	 سیستم اندازه‌گیری گشتاور
۳۴۹	 مسیر برگشت روغن
۳۴۹	 پمپ
۳۵۱	 آشکارساز براده
۳۵۱	 تخلیه‌ی هوا و گاز از روغن
۳۵۱	 فیلتر اصلی روغن
۳۵۳	 ۳-۸ بررسی سیستم روانکاری موتور توربوشفت PT۶T
۳۵۳	 پمپ
۳۵۴	 مسیر رفت روغن
۳۵۶	 فیلتر
۳۵۷	 آب‌بندی محفظه‌ی برینگ‌ها
۳۵۸	 سیستم روغن گیربکس کاهنده
۳۵۹	 گرم‌کننده‌ی سوخت
۳۵۹	 آشکارساز براده
۳۶۰	 ۴-۸ بررسی سیستم روانکاری موتور توربوشفت ۷۰۰
۳۶۰	 مخزن روغن
۳۶۰	 پمپ روغن
۳۶۰	 فیلتر
۳۶۱	 سنسورهای فشار و دما
۳۶۱	 خنک‌کننده‌ی روغن
۳۶۱	 آشکارساز آهنربایی

پیشگفتار مدیر عامل

با نهایت تضرع و توسل به بزرگواران 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 بالگردهای ایران (پنها) این توضیحات را ارائه می‌کند که با اراده مشترک برای رسیدن به مقاصد عالیه در خصوص تولید علم گامهای اساسی و با برنامه‌ریزی دارد. تولید علم و فناوری امروزه یکی از اساسی‌ترین شرط بقاء در جوامع مترقی و پویاست؛ می‌توان گفت نگاه هوشمندانه، مؤلفه تولید علم در کشورهای مختلف که ارتباط مستقیم و پیوسته‌ای با میراث تمدنی و بایبان آنان دارد تحلیل کرد.

شرکت پنها با تجربه‌ای بیش از ۴۵ سال و با کادری بسیار درخشان و منحصر بفرد به عنوان اصلی‌ترین و مهم‌ترین قطب بالگردی با رشدی منطقی در خصوص صنعت پیچیده بالگرد از آغاز برنامه تا تحولی عظیم و جهشی در حد بسیار عالی منشاء خدمات رزندی به جامعه اسلامی بویژه در دوران دفاع مقدس بوده است. امروز پنها با راهبرد نوآورانه و قوی با تکیه بر نیروهای مخلص و متعهد و کارآمد بخش عمده‌ی ارزش‌های یک صنعت با فناوری بالا را از آن خود کرده است. لذا توجه به ویژگی‌های فرهنگی حاکم بر پنها مبنی بر خدمت به نظام و حفظ دستاوردهای آن به عنوان یک اصل مورد قبول، همه کارکنان در یک رویکرد مناسب اقدام به انتقال تجربه‌ای چندین ساله کار در عین خود در قالب کتاب‌های علمی و تخصصی که حاصل تلاش همکاران صدیق پنها می‌باشد را نمودار می‌کند. امید است جزو باقیات و صالحات برای این عزیزان و همه دست‌اندرکاران باشد. انشاء الله... نزد حفظ دوست مأجور خواهد بود. امید است این گام هر چند 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.

مدیر عامل پنها
محمد احمدآبادی

پیشگفتار گردآورندگان

حمد و سپاس، خداوند بزرگ را که به ما منت نهاد و به ما نعمت اندیشیدن را ارزانی داشت تا الطاف بی پایانش را درک نماییم. همچنین، مهم چون نهالی در دل ما به ودیعه نهاد تا دل از عشق او لبریز نماییم.

در یک تعریف ساده، روانکاری، روشی است برای جلوگیری از اصطکاک و سایش سطوح متحرکی که روی یکدیگر قرار می گیرند. اصطکاک، عبارت از نیرویی است که در برابر حرکت یک سطح بر روی سطحی دیگر ایجاد مقاومت می کند. تا این اصطکاک وقتی وجود دارد که سطوح نسبت به یکدیگر دارای حرکت باشند. مانند گردش یک میله در داخل یک یاتاقان ثابت یا غلطیدن ساچمه ها در بدنه ثابت بلبرینگ. کار اصلی روانکاری، کاهش میزان اصطکاک بین سطوح متحرک و ثابت است که توسط روانکارها (انواع روغن، گریس و...) امکان پذیر می شود.

بالگرد به عنوان یک وسیله پرنده منحصر با داشتن سیستم های مکانیکی دوار نیاز این شاخه از علم است وجود بلبرینگ ها، یاتاقان ها و سایر اجزای گردنده به اهمیت این علم می افزاید. کتاب حاضر با تکیه بر علم روانکاری در بالگردها شامل مباحث نظری عملی و بسیاری از سیاری در جهت آشنایی خوانندگان با فرایند روانکاری و عوامل موثر بر آن است. در فصول اول کتاب، مقدمه ای بر مکانیک سیالات ارائه و در آن به ویژگی های سیالات نیوتونی پرداخته شده است. در فصول بعد، خواننده با یاتاقان ها، شیرها و بلبرینگ ها آشنا شده و در نهایت برای درک بیشتر خواننده به نکات عملی در فرایند روانکاری بالگردها اضافه شده است.

امید است که محتوای این کتاب در جهت اعتلای سطح دانش خوانندگان آن سازنده باشد.

حمید وفاخواه - محمدرضا رستمی