

کزین برتر اندیشه برنگذرد

خداوند روزی ده رهنمای

به نام خداوند جان و خرد

خداوند نام و خداوند جای

توربینهای بخار

طراحی، کاربرد و به روزرسانی

مؤلف : Hemant P. Bloch, Murari P. Singh

مترجم : مهندس مهدی ملکپور

پیشگفتار

شدت به قابلیت‌های مدل‌های انتخابی و ابعاد آنها در کارکرد با شرایط بخار مد نظر و تولید توان خروجی مطلوب و مورد انتظار وابسته می‌باشد.

ملاحظات مشابهی مهندس تأسیسات را بر آن خواهد داشت که به تحقیق درباره محرک‌های موجود برای فرآیندهای کاری غیر بپردازد. امروزه به وضوح می‌بینیم که بیشتر تأسیسات بزرگ در روش‌های و بخصوص آنهایی که از بخار در فرآیندهای خود بهره می‌گیرند و لذا الزاماً به تولید آن نیازمند می‌باشند؛ از توربین‌های بخار و عنوان محرک مکانیکی استفاده می‌کنند. این تجهیزات بزرگ و حساسیت متغیر در فرآیندهای پیوسته شیمیائی یک عضو بحرانی محسوب می‌شوند و در بیشتر حالات بدون اینکه پشتیبان داشته باشند، بکار گرفته می‌شوند. این نوع بهره‌برداری‌ها نیازمند حداقل میزان قابلیت اطمینان و دسترسی‌پذیری می‌باشند. این دو مؤلفه، سنگ بنا و اساس برنامه‌های توسعه و پیشرفت را در تأسیسات و کارخانجات سازنده توربین‌های بخار شامل می‌شوند.

صنایع پتروشیمی و سایر صنایع، بیش از پیش در یک رقابت

در حقیقت، تمامی صنایع برای بهره‌گیری کارآمد و قابل اطمینان از کمپرسورها و سایر ماشین‌های حرکت دهنده سیالات، به توربین‌های بخار وابسته می‌باشند. انواع مختلف این ماشین‌آلات اغلب نیازمند سرعت‌های ورودی مختلف می‌باشند و توربین‌های بخار نیز قادر هستند این نیاز آنها را به آسانی پاسخ دهند.

ممکن است وضعیتهایی پیش آید که غیر از نیاز به حرکت دورانی، به حرارت نیز احتیاج باشد. در این مواقع، توربین‌های بخار بزرگ محرک مکانیکی قادر خواهند بود با عبور دادن بخار از بین پره‌های خود و تولید حرکت دورانی، نهایتاً از بخار به عنوان حرارت فرآیندی در جایی دیگر از تأسیسات مربوطه استفاده کنند و یا حتی از این حرارت بخار به عنوان منبع گرمایش محیطی ساختمانها بهره جویند.

امکان‌پذیری و قابلیت اقتصادی این کاربردها و بسیاری از کاربردهای متعدد مرتبط دیگر به قابلیت اطمینان توربین‌های بخار وابسته می‌باشد. قابلیت اطمینان توربین بخار نیز خود به

تنگاتنگ جهانی قرار گرفته‌اند و این رقابت آنها را نیازمند استفاده از تجهیزات با هزینه‌های کمتر می‌کند. این رقابت جهانی همچنین صنایع را نیازمند بازسازی و اصلاح توربین‌های بخار موجود و افزایش راندمان و توان تولیدی به ازای تن بخار مصرفی کرده است. ساختن این تجهیزات، بدون مدنظر قرار دادن کیفیت، راندمان و قابلیت اطمینان چندان آسان نخواهد بود و لذا تنها برخی سازندگان مطرح و برتر دنیا از پس این عوامل بر آمده و شایسته ساخت این تجهیزات هستند. به همان میزان از درجه اهمیت نیز یک خریدار یا کاربر تجهیزات دوار به دنبال دو مؤلفه کاملاً عصب فلز، اما متضاد هم خواهد بود: هزینه کمتر، و کیفیت بالاتر.

نقطه آغاز انتخاب یک ماشین دستی دستور فنون کار و معلومات آن است و از این نقطه است که یک فرد می‌تواند به سمت مرحله انتخاب نوع آن برود. برای مثال می‌توان به انتخاب توربین تقطیری، یا توربین پس‌فشار یا توربین زیرکشی؛ و یا از جنبه دیگر به انتخاب توربین عکس‌العملی یا ضربه‌ای اشاره کرد. انتخاب نوع ماشین نیز به انتخاب قطعات آن وابسته است، مانند انتخاب یاتاقانهای ثابت، یا یاتاقانهای بستر قابل انحراف. این دو مؤلفه، یعنی انتخاب ماشین و انتخاب قطعات، هر دو باهم از اهمیت بسزایی برخوردارند، زیرا نهایتاً نوع این دو انتخاب می‌باشد که بر قابلیت تعمیر، قابلیت‌های بهره‌برداری، دسترسی‌پذیری و قابلیت اطمینان تأثیر می‌گذارد. نتیجه نهائی این دو انتخاب ممکن است به قابلیت سوددهی و حتی قابلیت بقاء تأسیسات منتهی شود.

ویرایش دوم این کتاب با هدف گردآوری اطلاعاتی برای کمک به خواننده در انجام دادن انتخاب‌های هوشمندانه ارائه شده است. در این ویرایش فصل ۱۶ که مربوط به بروز رسانی و اصلاح و تغییر توان توربین‌ها می‌باشد افزوده شده و فصل مربوط به یاتاقانها نیز کاملاً مورد تجدید نظر قرار گرفته است و

اطلاعات جدیدی درباره آببندهای محافظ یاتاقان، آببندها برسی، روانکاری مه روغن و آببندهای مکانیکی سطح مو افزوده شده است. اگر چه نمی‌توان این کتاب را کاملاً جامع در برگیرنده تمامی مطالب مورد نیاز دانست، اما امید نویسندگان بر این بوده است که کتاب حاضر هم شایسته بود و هم قابل مطالعه باشد. باور ما این است که در بروز کردن مطالب کتاب و افزودن اطلاعات کاربردی و میدانی موفق عمل کرده‌ایم. تأکید اصلی کتاب بر فن‌آوری و مفاهیم اساسی بود است، اما تجهیزات فرعی مانند سیستمهای انتقال قدرت سرعت ثابت و سرعت متغیر، کلاچها، و کوبلینگها نیز از قلم نیفتاده‌اند. ما با این تجربه که اغلب خرابی‌های ماشین‌آلات به اثر نقص تجهیزات فرعی و کمکی آنها می‌باشد، تصمیم گرفتیم تا گاورنرها، شیم‌های آب‌بندی و روانکاری، تجهیزات تریب سرعت بیش از حد و سایر تجهیزات کمکی مرتبط را نیز این کتاب بگنجانیم.

در حین گردآوری این اطلاعات از منابع صنعتی که در عرصه مهندسی حضور دارند، از تلاش سرشار برخی شرکت‌های مطرح در صنعت استفاده کردیم و ساخت ماشین‌آلات با راندمان قابل‌توجهی را به شما نشان بدهیم. لذا بر آن شدیم تا با جمع‌آوری این اطلاعات پراکنده در بین گروه‌های مختلف طراحی، ساخت، آزمایش و فروش؛ کتاب جامعی تدوین کنیم که خواننده را با اطلاعات و چکیده این مطالب آشنا نماید. میان این مطالب ارائه شده مثال‌هایی نیز در مورد کاربرد انتخاب توربینها ارائه شده است که هم در واحدهای انگلیسی هم متریک می‌باشند.

خواننده در طول کتاب متوجه خواهد شد که از روابط ریاضی گسترده به دور مانده‌ایم و به جای آن به برخی روابط پایه جهت آشنا کردن و جهت‌دهی خواننده اکتفا نموده‌ایم. این روابط ارائه شده توسط طیف گسترده‌ای از کاربران ماشین‌آلات

مورد استفاده قرار خواهند گرفت. این طیف گسترده از بهره‌برداران و تکنسینهای مکانیک گرفته تا مهندسين قابلیت اطمینان، مهندسين مکانیک و شیمی، سرپرستهای بهره‌برداري، مدیران پروژه، و حتی مدیران ارشد را شامل می‌شود.

در نهایت ناشر و نویسندگان لازم به ذکر می‌دانند که این کتاب بدون همکاری بی‌قید و شرط سازندگان متعدد و در عین حال رقیب توربین بخار در ایالات متحده و سایر کشورها قابل گردآوری نبوده است. در تدوین این کتاب در تمامی بخشها از شرکت‌های مربوطه اجازه چاپ و نشر گرفته شده است.

بنابراین ارزش اصلی این کتاب متوجه همکاری کنندگان در آن و نه نویسندگان می‌باشد؛ چرا که در برخی قسمتها، نویسندگان جز تدوین و گردآوری، نقش دیگری نداشته‌اند.

در آخر تشکر ویژه‌ای داریم از سیماء، رشما و ماسوما سینگ بخاطر یاری ارزشمندی که به ما داشته‌اند. تلاش آنها در مطالعه نهائی و رفع ایرادات املائی و نگارشی موجب بهبود قابل توجه کیفیت کتاب گردیده است.

هینز پی. بلاک

میوراری پی. سینگ

www.ketab.ir

۱-۱ چرا محرکهای مکانیکی توربین بخار بکار

گرفته می شوند ۱

۲-۱ مروری بر اصول اساسی توربینهای بخار ۲

۱-۲-۱ طبقه بندی توربین بخار می تواند متنوع

باشد ۴

۲-۲-۱ طرح ضربه ای پیش فته ۶

۳-۲-۱ ساختار تک ولوی در برابر ساختار چند

ولوی ۶

۴-۲-۱ ملاحظات مربوط به بالانس بخار ۷

۳-۱ مروری بر انواع توربینهای بخار و سیستم

کنترل آنها ۱۱

۱-۳-۱ مستقیم غیر تقطیری ۱۲

۲-۳-۱ زیرکشی اتوماتیک غیر تقطیری ۱۳

۳-۳-۱ زیرکشی اتوماتیک تقطیری ۱۴

۴-۳-۱ ملاحظات اساسی در کنترل بخار ۱۷

۵-۳-۱ کنترلهای توربین زیرکشی اتوماتیک

تقطیری ۱۹

۶-۳-۱ مدلهای با جعبه دنده و مستقیم ۱۹

۷-۳-۱ مفاهیم مربوط به طرحهای مدولار ۲۱

۱-۲ طراحی بدنه ۲۵

۲-۲ بخشهای مکش و ورود بخار ۲۸

۳-۲ دیافراگمهای توربین بخار و پکینگهای

لابیرانتی ۴۳

یاتاقانهای توربینهای محرک مکانیکی

(۴۵-۶۹)

۱-۳ یاتاقانهای ژورنال برای توربو ماشینهای

صنعتی ۴۵

۱-۱-۳ پایداری یاتاقان ژورنال ثابت ۴۶

۲-۱-۳ یاتاقانهای ژورنال بستر قابل انحراف ۴۹

۳-۱-۳ یاتاقانهای ژورنال بستر قابل انحراف ۵۲

۴-۱-۳ یاتاقانهای بستر قابل انحراف باروانکاری

کم ۵۵

۲-۳ پارامترهای کلیدی طراحی ۵۹

۳-۳ یاتاقانهای محوری (تراست) توربو ماشینها ۵۹

۴-۳ یاتاقانهای مغناطیسی فعال ۶۷

روتور و یاتاقانهای ضربه ای ... (۷۱-۸۳)

۱-۴ تجربیات بهره برداری بلندمدت ۷۱

۲-۴ قطر گام و سرعت ۷۳

۳-۴ دمای بخار ۷۳

۴-۴ روتورهای ترکیبی ۷۴

۵-۴ روتورهای صلب ۷۸

۶-۴ بخش انتهائی شفت ۸۰

۷-۴ روشهای بالانس روتور توربین ۸۱

۱۱۶	۳-۷	ولو تریپ (ترائل) یا ولو قطع اصلی	۸۲	۱-۷-۴	بالانس با سرعت روتور بالا
۱۱۶	۴-۷	تجهیزات تریپ دور بیش از حد مجاز	۸۲		برخی مزایای بالانس در سرعت روتور بالا
۱۱۸	۵-۷	سیستمهای آب بندی گلند	۸۳		برخی معایب بالانس در سرعت روتور بالا
۱۱۸	۶-۷	تصفیه کنه‌های روغن روانکاری	۸۳	۸-۴	تلرانس بالانس

فصل هشتم

گاورنرها و سیستمهای کنترل... (۱۴۱-۱۲۵)

۱۲۵	۱-۸	مفاهیم کلی
۱۲۸	۲-۸	اصطلاحات مربوط به سیستم گاورنر
۱۲۸	۱-۲-۸	تنظیم سرعت
۱۲۹	۲-۲-۸	تغییرات سرعت
۱۲۹	۳-۲-۸	باند مرده
۱۲۹	۴-۲-۸	پایداری
۱۲۹	۵-۲-۸	افزایش سرعت
۱۳۰	۳-۸	طبقه بندی NEMA
۱۳۱	۴-۸	ولتاژها
۱۳۱	۱-۴-۸	توربینهای آب ولو
۱۳۱	۲-۴-۸	توربینهای چند رله
۱۳۳	۵-۸	گاورنرهای PG
۱۳۴	۶-۸	گاورنرهای الکترونیکی
۱۳۶	۷-۸	سیستمهای گاورنر
۱۳۶	۱-۷-۸	مفاهیم کلی
۱۳۶	۲-۷-۸	کنترل زیرکش

فصل پنجم

روتورهای توربینهای عکس‌العملی

(۹۶-۸۵).....

۸۵	۱-۵	روتورهای صلب
۸۹	۲-۵	مواد مورد استفاده در روتورهای صلب
۹۱	۳-۵	روتور جوشکاری شده
۹۱	۴-۵	مواد مورد استفاده در روتورهای جوشکاری شده

فصل ششم

مروری بر طراحی پره توربینها... (۱۱۱-۹۷)

۹۹	۱-۶	مواد پره
۹۹	۲-۶	نصب ریشه پره
۱۰۲	۳-۶	انواع ایرفویلها و قابلیت‌های آنها در ساخت پره
۱۰۲	۴-۶	پره‌های هادی برای توربینهای عکس‌العملی
۱۰۸	۵-۶	پره‌گذاری مرحله آخر کم فشار

فصل هفتم

تجهیزات جانبی توربینها... (۱۲۴-۱۱۳)

۱۱۳	۱-۷	سیستمهای روانکاری
۱۱۵	۲-۷	ترنینگ گیر

- ۱۶۲ مکانیزمهای ناپایداری ۱۲-۱۰
 ۱۶۳ ارتعاش زیر سنکرون ۱۳-۱۰
 ۱۶۴ نمونه‌های کاری ۱۴-۱۰
 ۱۶۷ نیروهای لایبرانت و آب بند پوششی ۱۵-۱۰
 ۱۶۸ معیار پایداری روتور ۱۶-۱۰
 ۱۶۸ بررسی‌های تجربی ۱۷-۱۰

فصل یازدهم

دیاگرامهای کمپ بل، گودمن و سیف برای پره‌های توربین بخار..... (۱۶۹-۱۹۷)

- ۱۶۹ دیاگرام گودمن ۱-۱۱
 ۱۷۰ دیاگرام گودمن-سادربرگ ۲-۱۱
 ۱۷۱ دیاگرام کمپ بل ۳-۱۱
 ۱۷۷ فرکانسهای تحریک ۱-۳-۱۱
 ۱۷۸ دیاگرام سیف-ابزاری برای ارزیابی ۱۱
 ۱۷۸ بوبینهای دیسکی ۱۱
 ۱۷۸ حرارت تشدید ۴-۱۱
 ۱۷۸ سنس مو ۲-۴-۱۱
 ۱۸۲ نیروهای نو مان ۳-۴-۱۱
 ۱۸۸ دیاگرام سیف برای دیسک پره‌دار ۵-۱۱
 ۱۸۹ شکلهای مود یک دیسک پره‌دار ۶-۱۱
 ۱۹۰ دیاگرام تداخل آن سوی حد $N/2$ ۷-۱۱
 ۱۸-۱۱ تشریح اطلاعات منتشر شده توسط
 ۱۹۲ دیافراگم سیف شرکت درسر-راند
 ۱۹۳ خلاصه ۹-۱۱

فصل نهم

کوپلینگها و ملاحظات مربوط به آنها (۱۴۳-۱۴۸)

- ۱۴۳ انتقال توان ۱-۹
 ۱۴۷ هم محوری شفت ۲-۹
 ۱۴۷ تعمیرات ۳-۹
 ۱۴۸ تأثیر بر سرعتهای بحرانی ۴-۹
 ۱۴۸ انبساط تفاضلی ۵-۹
 ۱۴۸ تراستهای محوری ۶-۹
 ۱۴۸ محدودیتهای کاربردی ۷-۹

فصل دهم

فناوری دینامیک روتور..... (۱۶۱-۱۶۸)

- ۱۴۹ مدل روتور ۱-۱۰
 ۱۵۰ سفتی دینامیکی ۲-۱۰
 ۱۵۳ تأثیر میرایی بر پیش‌بینی سرعت بحرانی ۳-۱۰
 ۱۵۴ پیشرفت‌های مربوط به یاتاقان ۴-۱۰
 ۱۵۶ بهبودها و اصلاحات ۵-۱۰
 ۱۵۶ ملاحظات مربوط به تکیه‌گاه یاتاقان ۶-۱۰
 ۱۵۷ فنداسیون ۷-۱۰
 ۱۵۷ امیدانس ۸-۱۰
 ۱۶۰ نیروهای نیمه قوسی ۹-۱۰
 ۱۶۱ رویه طراحی ۱۰-۱۰
 ۱۶۲ پاسخ روتور ۱۱-۱۰

۲۲۸	دندهای سرعت متغیر
۱۳-۵-۱	عملکرد محرک سرعت متغیر چند
۲۲۸	مرحله‌ای
۱۳-۵-۲	جزئیات طراحی و بهره‌برداری
۱۳-۵-۳	روغنکاری و روغن روانکاری
۱۳-۵-۴	سیستم روانکاری
۱۳-۵-۵	محدود کردن روغن روانکاری واحدهای
۲۳۳	دندهای و سرعت متغیر

فصل چهاردهم

روشهای گرافیکی میانبر برای انتخاب توربین (۲۳۵-۲۷۲)

۱۴-۱	راهنمای نمودار مولیر
۱۴-۲	تخمین نرخهای بخار
۱۴-۳	اطلاعات مرجع سریع برای تخمین نرخهای
۲۶۶	بخار بینهای بخارچند مرحله‌ای-چندلولی

فصل پانزدهم

روش میانبر انتخاب توربینهای بخار چند مرحله‌ای - چند ولوی (۲۷۳-۲۸۶)

۱۵-۱	نرخهای جریان تخمینی
۱۵-۲	تعیین عملکرد مراحل
۱۵-۳	عملکرد توربین زیرکشی

فصل دوازدهم

مقایسه توربینهای عکس‌العملی و ضربه‌ای (۱۹۹-۲۱۶)

۱۲-۱	مقدمه
۱۲-۲	مقایسه توربینهای ضربه‌ای و عکس‌العملی
۱۲-۳	راندمان
۱۲-۴	طراحی
۱۲-۴-۱	روتور
۱۲-۴-۲	پره‌گذاری
۱۲-۵	فرسایش
۱۲-۶	تراست محوری
۱۲-۷	تعمیرات
۱۲-۸	ویژگیهای طراحی توربینهای عکس‌العملی
۲۱۰	پیشرفته
۱۲-۹	تشکیل رسوب و شستشوی آبی توربین

فصل سیزدهم

تجهیزات انتقال توان برای توربوماشینهای پرسرعت (۲۱۷-۲۳۴)

۱۳-۱	واحدهای چرخ دندهای
۱۳-۲	جعبه دنده‌های سیاره‌ای
۱۳-۳	کلاچها
۱۳-۴	محرکهای هیدرو و اسکوز
۱۳-۵	مبدل‌های هیدرودینامیکی و توربوکوپلینگهای

فصل شانزدهم

اصلاحات، بروزرسانی‌ها و بهبودها (۲۸۷-۳۲۳)

۳۱۲	۲-۴-۱۶ اندازه فلنج
۳۱۲	۳-۴-۱۶ ظرفیت حلقه نازل
۳۱۴	۴-۴-۱۶ تحلیل مسیر بخار
۳۱۴	۵-۴-۱۶ بارگذاری پره روتور
۳۱۵	۶-۴-۱۶ بارگذاری یاتاقان تراست
۳۱۵	۷-۴-۱۶ ظرفیت ولو گاورنر
۳۱۵	۸-۴-۱۶ روتور
۳۱۵	۹-۴-۱۶ شفت و ارزیابی قابلیت اطمینان آن
۳۱۷	۱۰-۴-۱۶ تغییرات محدوده سرعت
۳۱۷	۱۱-۴-۱۶ بازبینی تجهیزات کمکی
۳۱۷	۱۲-۴-۱۶ روانکاری مه روغن برای توربینهای با
۳۱۷	کاربری عمومی
۳۲۳	۱۳-۴-۱۶ حل مشکلات
۳۲۳	۵-۱۶ خلاصه

۲۸۹	۱-۱۶ بروزرسانی و بهبود عملکرد و راندمان
۲۹۰	۱-۱-۱۶ آب بندهای رسی و آب بندهای لایبرانتی
۲۹۴	۲-۱-۱۶ آب بندهای خشک با سطح موج
۳۰۲	۳-۱-۱۶ سطرها
۳۰۶	۲-۱۶ بهبود قابلیت اطمینان
۳۰۶	۱-۲-۱۶ کنترلرهای الکترونیکی
۳۰۹	۲-۲-۱۶ سیستمهای پایش
۳۱	۳-۱۶ افزایش طول عمر
۳۱۰	۴-۱۶ اصلاح و کاربری مجدد
۳۱۱	۱-۴-۱۶ بدنه