



■ مهندس علیرضا نشاطی

کارشناسی مهندسی مکانیک، رئیس تعمیرات مکانیکی
واحد ۶ سیمان تهران

گیربکس‌ها در صنعت سیمان (بخش سوم)

پیش‌گفتار:

در دو بخش گذشته ضمن معرفی گیربکس‌ها و چگونگی عملکرد و مکانیزم کار آنها، به مواردی همانند: اجزاء گیربکس و انواع چرخ‌دنده‌ها، واژه‌ها و مشخصات فنی، جفت شدن، شکل دادن دنده‌ها، انواع عملیات ماشین‌کاری و کارهای تکمیلی، انواع چرخ‌دنده شامل مخروطی، مستقیم، مارپیچ با محورهای موازی، حلزونی و مخروطی، ساخت و طراحی چرخ‌دنده‌ها (شامل مواد اولیه یا جنس، عملیات حرارتی و سنگ‌زنی)، طراحی گیربکس، محاسبات دنده‌ها، توان گیربکس، مشخصات اصلی گیربکس، محاسبات شافت‌ها، بیرینگ‌ها، پیچ‌های بدنه گیربکس و ... پرداخته شد. در این بخش و در ادامه مبحث گیربکس‌ها، ابتدا جهت نگهداری گیربکس‌ها مواردی را ذکر می‌کنیم و سپس به موضوعاتی در خصوص عیب‌یابی و رفع عیب پرداخته و در انتها با یک مثال چگونگی انتخاب گیربکس برای سیستم تشریح می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: گیربکس، صنعت سیمان، چرخ‌دنده، ارتعاش، روانکاری، خنک‌کن روغن

۱- نگهداری گیربکس

با توجه به مباحث گذشته و حساسیت قطعات داخلی گیربکس، بهره‌برداری از این دستگاه امر بسیار مهمی است. اگر این کار به صورت اصولی صورت گیرد، عمر دستگاه به حداکثر خود می‌رسد و می‌توان ادعا کرد که از عمر مفید دستگاه تا مرز ۸۰ درصد استفاده شده است؛ اما اگر این کار ناقص و غیراصولی باشد، خیلی سریع دستگاه از حساسیت افتاده و به پایان عمر خود می‌رسد. لذا جهت اندازه‌گیری حساسیت‌ها و نگهداری خوب از گیربکس‌ها به صورت پیوسته، توصیه می‌شود به برنامه‌ای به شرح زیر عمل شود. البته لازم به ذکر است رابطه نگهداری با ساخت قطعات خصوصاً گیربکس آنقدر

نزدیک است که اگر اطلاعات کافی از چگونگی ساخت قطعات نداشته باشیم، به سختی می‌توانیم به نگهداری خوب آن بپردازیم.

۱-۱- روانکاری

موضوع روانکاری اولین کار مهم است که در نگهداری گیربکس‌ها شرط اساسی به شمار می‌رود. در رابطه با روغن‌کاری یا روانکاری پارامترهای زیر وجود دارد.
برنامه روغن‌کاری در زمان راه‌اندازی مطابق دستورالعمل دستگاه با انتخاب روغن مناسب و مقدار روغن و تعویض به موقع روغن با احتساب ساعت استاندارد تا رسیدن به وضعیت عادی می‌باشد و در

۱-۲- باز دیده ها

۱-۲-۱- باز دیده های ظاهری در حالت کار

- اطمینان از پر بودن روغن که باید از شیشه روغن نما به صورت عینی انجام گیرد و تا خط تصفیه پر از روغن باشد. (روزانه)
- اطمینان از آب بندی و سالم بودن کلیه دریچه ها و غیره که مانع آلوده شدن و ورود گرد و خاک به گیربکس می شود. (روزانه)
- کنترل حرارت، توجه به حرارت نقاط مهم مانند یاتاقان ها و کوپلینگ های هیدرولیک و حرارت مانده در روغن از شاخص های ترموکوپل، از طریق بهره برداری (روزانه) و از طریق مکانیک به صورت لمس و گزارش (هفتگی).

اگر در هر یک از آیتم های فوق اشکالی مشاهده شود با گزارش به امور فنی در جهت رفع اشکال به باز دیده های اساسی منجر خواهد شد.

۱-۲-۲- باز دیده های اساسی در حالت توقف

بازدید تعدادی از قطعات داخلی و کیفیت واقعی روانساز می تواند پس از برداشتن سرپوش گیربکس انجام گیرد که پس از توقف و رعایت ایمنی می توانیم نسبت به بررسی نقاط زیر اقدام نمائیم:
- بررسی کیفیت از نظر ذرات فلز با چرخاندن آهن ربا در داخل و نمونه برداری

- برداشتن نمونه روغن و تست آن
- بررسی محورها، یاتاقان ها، کوپلینگ و تجهیزات جنبی
- بررسی چرخ دنده ها از لحاظ درگیری و آثار انطباق و میزان تنظیمات
- در صورت مشاهده آثار درگیری و اصطکاک شدید بررسی دقیق عیوب چرخ دنده ها و انحرافات محورها و فیلر گذاری نقاط حساس انجام شود.
- در صورت مشاهده کنده شدگی (pitting)، شکستگی دنده ها و یا ریزش فولاد چرخ دنده و یا لق شدن چرخ دنده، موقعیت آنها بررسی شود.

در ادامه این باز دیده ها، بسته به عمر دستگاه، رفته رفته بطور طبیعی یا اتفاقی ایراداتی در گیربکس به وجود خواهد آمد. از این لحاظ جهت عیب یابی و رفع اشکالات به شرح زیر اقدام می نمایند.

۲- عیب یابی

عیوبی که در گیربکس ها مشاهده می شود عمدتاً به صورت زیر می باشد:

۱-۲-۱- دفرمه شدن چرخ دنده ها در اثر سایش

اگر دو چرخ دنده محرک و متحرک را در نظر بگیریم، چون اصول

زمان بهره برداری گیربکس در مرحله اول باز دیده های روزانه و هفتگی برای کنترل سطح روغن و استفاده از روغن های با کیفیت از لحاظ خلوص و آلودگی و باز دیده های ماهانه و سالانه جهت کنترل قطعات و ضایعات احتمالی و اتخاذ تصمیمات مورد نیاز برای رفع اشکالات می باشد. لازم به ذکر است تعویض به موقع روانساز روغن یا گیربکس گیربکس و یاتاقان ها و تعویض قطعات آسیب دیده در موقع نیاز و زمان مناسب و خلاصه نگهداشتن وضع گیربکس در وضعیت مطلوب تا پایان عمر دستگاه از وظایف مکانیک تجهیزات می باشد.

در رابطه با موضوع روانکاری چرخ دنده ها در گیربکس با توجه به انواع مختلف آن توجه به مسائل زیر لازم می باشد:

هدف از روغن کاری چرخ دنده ها عبارت است از کاهش اصطکاک در محل درگیری چرخ دنده ها. میزان درگیری چرخ دنده ها به عوامل زیر ارتباط دارد:

۱- ابعاد چرخ دنده و دور دستگاه

۲- موقعیت مکانی

۳- قدرت یا توان گیربکس

هر اندازه قدرت گیربکس زیاد باشد و دور دستگاه بالا باشد، ابعاد قطعات چرخ دنده از نظر قطر و طول دنده ها افزایش پیدا می کند و حجم دستگاه زیاد می شود. با افزایش آیتم ها و سطوح درگیری، رسیدن به عمر روغن کاری مفید مشکل تر می گردد. لذا تدابیری برای رفع این مشکلات در گیربکس ها اتخاذ گردیده است. به طور مثال اگر قطر چرخ دنده زیاد شود، تعداد دندانه زیادتر شده و زمان تکرار درگیری افزایش می یابد. در این صورت استفاده از روانسازی که ویسکوزیته کم دارد اشتباه است. زیرا در هنگام گردش نمی تواند فیلم روغن را تشکیل دهد و با گرم شدن تدریجی گیربکس و روغن، ویسکوزیته کاهش و سیالیت افزایش می یابد. یعنی هر قدر روغن حرارت بالایی پیدا کند، زودتر از روی دنده ها شسته شده و این باعث می شود که محل درگیری به صورت خشک باقی بماند و عمل روانکاری از کیفیت بیافتد. با انتخاب روغنی مناسب با مقاومت بیشتر و با سیالیت کمتر می توان این مسأله را حل کرد.

حتی در چرخ دنده های بسیار بزرگ مانند گیربکس های سنگین آسیاب ها، از حمام روغن استفاده می شود. روغن بوسیله پمپ پاشیده می شود و همچنین در چرخ دنده ها بخصوص کوره و آسیاب که دنده های رینگ دارند، از گریس مولیکوتی و گریس مخصوص که چسبندگی و مقاومت حرارتی بالایی دارند، استفاده می گردد. برای افزایش عمر گیربکس استفاده از فیلتر در مسیر سیر کولاسیون نیز می تواند ناخالصی ها و اجسام خارجی را از روغن جدا نماید. نمونه هایی را در ادامه مبحث اشاره کرده ایم.

حال مواردی از عیوب گیربکس، نشانه‌های تشخیص عیب و چگونگی رفع این عیب‌ها ارائه می‌شود. عیوب گیربکس‌ها می‌تواند یکی از موارد زیر باشد:

۲-۲- افزایش ارتعاش گیربکس

البته هر گیربکس و یا هر تجهیز در زمان ساخت نیز با حد قابل قبولی از ارتعاش، تحویل خریداری می‌گردد که می‌بایست خریدار در زمان تحویل تجهیز مکانیکی، حدود مورد قبول ارتعاش آن را از سازنده طلب کند و در زمان کارکرد نیز به صورت دوره‌ای ارتعاش‌سنجی از گیربکس صورت پذیرد. در صورت مشاهده ارتعاش بالا، دلیل آن می‌تواند به سبب عوامل زیر باشد:

۱- نابالانسی قطعات با سرعت بالا

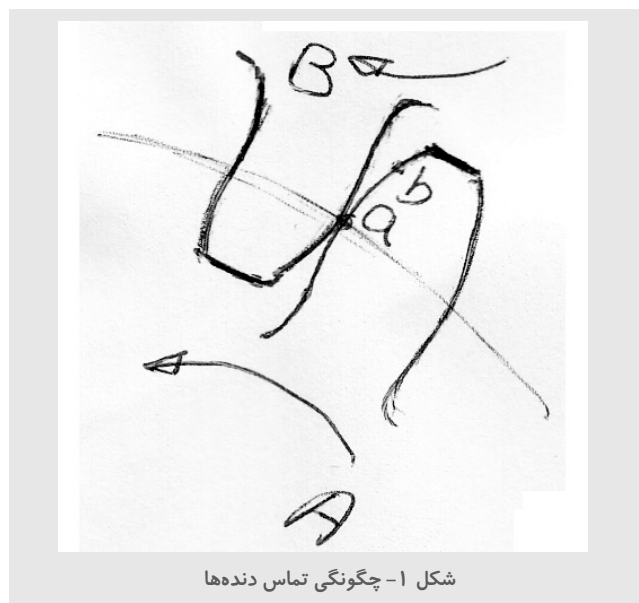
۲- کم شدن و زیاد شدن Backlash بین چرخ دنده‌ها

که در ابتدای مبحث عیب‌یابی، به دلایل بوجود آمدن این عیب‌ها اشاره شد. چنانچه برای رفع عیب به تغییر Backlash اقدام کردیم، می‌بایست در نظر داشته باشیم که پس از دمونتاز چرخ دنده‌ها، ضمن رعایت تمام موارد، میزان Backlash بین چرخ دنده‌ها با میزان مدول (Module) دنده‌ها مطابق جدول ۱ ارتباط دارد.

جدول ۱- رابطه میزان Backlash بین چرخ دنده‌ها با میزان مدول (Module)

Module Mn	Backlash (mm)
۰/۳-۱/۰	۰/۰۳-۰/۰۶
۱	۰/۰۶-۰/۰۸
۲	۰/۰۶-۰/۱۱
۳	۰/۱۰-۰/۱۳
۴	۰/۱۲-۰/۱۴
۵	۰/۱۴-۰/۱۷
۶	۰/۱۵-۰/۱۸
۷	۰/۱۶-۰/۱۹
۸	۰/۱۸-۰/۲۰
۸-۱۰	۰/۲۰-۰/۲۵
۱۰-۱۲	۰/۲۵-۰/۳۰
۱۲-۱۴	۰/۳۰-۰/۳۵
۱۴-۱۶	۰/۳۵-۰/۴۰
۱۶-۱۸	۰/۴۰-۰/۴۵
۱۸-۲۱	۰/۴۵-۰/۵۰

کار صحیح چرخ دنده‌ها با توجه به مسائل انتقال حرکت و کاهش اصطکاک و تحمل نیروهای مکانیکی و دینامیکی استوار است، فرم دنده‌های آن شکل خاصی دارد. این فرم به خاطر کاهش اصطکاک در محل درگیری است که ضمن انتقال حرکت گیربکس بتواند حداقل فشار را داشته باشد و چرخ دنده‌ها بدون درگیری شدید بتوانند چرخش نمایند. به طور مثال مطابق شکل ۱ دو چرخ دنده A و B که با هم کار می‌کنند، با توجه به جهت گردش چرخ دنده، A محرک است و چرخ دنده B (متحرک)، از نقطه a تا نقطه b سطح درگیری می‌باشد و دنده‌های محرک A از نقطه a با دنده مقابل درگیر شده و در نقطه b رها می‌گردند.



شکل ۱- چگونگی تماس دنده‌ها

این موضوع تقریباً مهمترین مسأله چرخ دنده‌ها می‌باشد و هر مشکلی در چرخ دنده‌ها ایجاد شود، اکثراً از این نقاط شروع می‌شود. بخاطر همین میزان درگیری و تنظیمات فواصل تلرانس بسیار دقیق مراعات شده و در جداول مربوطه داده می‌شود و می‌توان این اندازه‌ها را از روی دستورالعمل مطلع شد و به وسیله فیلرگذاری آزمایش نمود.

یکی از عیوبی که در سطح صاف دنده‌ها مشاهده می‌شود، سایش زیاد و بی‌رویه و تخریب کریستالی فولاد دنده‌ها و ریزش جرم آنها و ادامه آن که به دنده‌ها ختم می‌شود (pitting) و در ادامه آن وارد شدن این جرم‌ها در روغن و گردش آنها و قرار گرفتن مجدد این اجسام در بین چرخ دنده‌ها و نقاط حساس مانند یاتاقان که منجر به شکستن دندانه‌ها و از بین رفتن حساسیت یاتاقان‌ها می‌شود. با از حساسیت افتادن سطوح تماس چرخ دنده‌ها، اصطکاک بالا می‌رود و بالطبع حرارت گیربکس افزایش می‌یابد و این عمل باعث ضعف روانکاری می‌شود.

در هر صورت حالات مختلف ضایعات چرخ دنده‌ها که معمولاً در کارخانجات سیمان مشاهده می‌شود به اشکال مختلف وجود دارد.

بنابراین به صورت خلاصه می‌توان گفت:

• عیب: لرزش بیش از حد^۱

دلایل عیب:

- ۱- خرابی دنده‌ها (Gears failures)
 - ۲- خرابی بلبرینگ‌ها (Ruin of bearings)
 - ۳- شل بودن پیچ‌های اتصال به شاسی (Loose baseplate poits)
 - ۴- لنگی یکی از چرخ دنده‌ها (Unbalancing of one of gears)
- راه‌حل‌ها:

- ۱- چرخ دنده‌ها را تعویض کنید. (Replace the gears)
- ۲- بلبرینگ‌ها را تعویض کنید. (Replace the bearings)
- ۳- پیچ‌های اتصال به شاسی را سفت کنید. (Tight the connecting bolt to baseplate)
- ۴- چرخ دنده‌ها را تعویض کنید. (Replace the gears)

• عیب: روغن‌ریزی

دلایل عیب:

- ۱- خرابی کاسه نمد (Ruin of paoking)
 - ۲- خرابی واشرها (Ruin of gasket)
 - ۳- خرابی محور در کاسه نمد (Ruin of shaft at packing seat)
 - ۴- روغن اضافی (Additional oil)
 - ۵- نصب در موقعیت غیرمعمول (Installation at incorrect position)
- راه‌حل‌ها:

- ۱- کاسه نمد را تعویض کنید. (Replace the packing)
- ۲- واشرها را تعویض کنید. (Replace the gasket)
- ۳- محور را تعویض کنید. (Replace the shaft)
- ۴- سطح روغن را پائین بیاورید. (Decrease the oil level)
- ۵- گیربکس را به شکل صحیح نصب نمائید. (Install the unit at right position)

• صدای غیر متعارف گیربکس

صدای غیر متعارف گیربکس می‌تواند ممتد و یکنواخت باشد و یا نوسانی و غیر یکنواخت. در صورتیکه صدای گیربکس به صورت یکنواخت باشد، می‌تواند دلایل زیر را داشته باشد:

- الف- BackLash زیاد یا کم شده باشد.
- ب- لقی بین ساچمه و کونس بلبرینگ زیاد شده باشد.
- ج- بین شافت موتور و گیربکس و یا گیربکس و دستگاه مصرف کننده، ناهم‌محوری بوجود آمده باشد.
- د- روی پوسته گیربکس ترک‌هایی بوجود آمده باشد.
- ه - فرکانس طبیعی گیربکس و تجهیز اصلی یکسان شده باشد

که در این صورت می‌بایست دور گیربکس را تغییر داد).

اما اگر صدای گیربکس غیر یکنواخت باشد، می‌تواند دلایل زیر عامل ایجاد عیب باشد:

- الف- شکستگی در یکی از دنده‌ها
 - ب- هم‌محور نبودن دنده‌ها و شافت دنده‌ها
 - ج- موازی نبودن نشیمنگاه‌های تعبیه شده روی گیربکس
- بنابراین به صورت خلاصه دلایل عیب و راه‌حل آن را می‌توان به صورت زیر برشمرد:

• نوع عیب: صدای غیرمعمول

دلایل عیب:

- ۱- مونتاژ ناصحیح (Inoprrcet assembly)
- ۲- معیوب شدن یکی از بلبرینگ‌ها (Failure of one of bearings)
- ۳- کاهش روغن (Oil level reduction)
- ۴- نصب اشتباه (Incorrect installation)
- ۵- همراهی نبودن محورهای موتور و گیربکس (Nonalignent of the motor and gearbox shafts)
- ۶- دور ورودی بالا (High input speed)

رفع عیب:

- ۱- دوباره مونتاژ کنید.
- ۲- بلبرینگ‌ها را تعویض کنید.
- ۳- روغن را اضافه کنید.
- ۴- پیچ‌های اتصال را سفت کنید.
- ۵- کوپلینگ را تنظیم کنید.
- ۶- دور را کاهش دهید.

• عیب: صدای غیر معمول پیوسته

دلایل عیب:

- ۱- اعمال بار بیش از حد مجاز (Overloeding)
- ۲- رها شدن تنش‌های پس‌ماند (Release of residual stress)

رفع عیب:

پوسته را تعویض کنید. (Replace the case)

۲-۳- افزایش دمای گیربکس به صورت نامتعارف

این عیب می‌تواند به دلایل زیر باشد:

- الف- در صورت کاهش سطح روغن و یا استفاده از روغن با ویسکوزیته نامناسب

- ب- بالا بودن تفرانس شافت باعث افزایش دمای بلبرینگ و در

1 - unespeoted vibration

نهایت گیربکس می‌شود.

ج- کندگی سطوح (pitting) به دلیل اینکه بار اعمال شده بر سطح کمتری از میزان طراحی وارد می‌شود.

د- گشتاور بیشتر از حد که این مورد را از آمپر بالای موتور در زمان کارکرد می‌توان یافت.

ه- BackLash کم نیز می‌تواند باعث عدم تشکیل فیلم روغن مناسب و در نتیجه افزایش دما شود.

ی- استفاده از گیربکس با راندمان پائین‌تر به جای گیربکس‌های با راندمان مناسب باعث افزایش دما می‌شود.

به عنوان مثال در مورد تجهیزاتی که به طور ۲۴ ساعته یا با ساعت کار بسیار بالا در حال بهره‌برداری هستند، می‌بایست از گیربکس‌های هلیکال با محور موازی استفاده کرد. چنانچه از گیربکس حلزونی استفاده شود به دلیل راندمان پائین‌تر، حرارت گیربکس بالا می‌رود.

۳- انتخاب گیربکس و خنک‌کن آن

کنترل حرارت گیربکس یکی از عوامل مهم در کارکرد خوب گیربکس می‌باشد. زیرا در واقع درگیری بین دو دنده باید همواره با پوشش فیلم روغن بین دو دندانه درگیر با ضخامت و ویسکوزیته مناسب صورت گیرد و افزایش یا کاهش بیش از حد دمای گیربکس باعث تغییر در مشخصات روغن و در نتیجه خرابی زودرس دنده خواهد گردید. همچنین افزایش حرارت بیش از حد باعث خرابی کاسه نمدها خواهد شد.

تمامی گیربکس‌ها در حین کار، بسته به میزان راندمان آنها ایجاد حرارت خواهند نمود. تمامی گیربکس‌ها بیشترین تبادل گرمایی را از طریق حرارت بین سطوح پوسته و هوای اطراف انجام می‌دهند؛ در نتیجه مقدار سطح پوسته، ضریب انتقال حرارت پوسته و هوا می‌تواند در انتقال هرچه بیشتر حرارت ایجاد شده تأثیرگذار باشد. از آنجائی که محاسبه میزان حرارت ایجاد شده و قابلیت تبادل گرمایی پوسته و هوا مستلزم محاسبات پیچیده‌تر و اطلاعات بیشتری از گیربکس و طراحی آن می‌باشد، گیربکس‌سازان جهت سهولت انتخاب در کاتالوگ‌های خود جدولی را تنظیم می‌نمایند تا امکان انتخاب گیربکس مناسب و در صورت لزوم سیستم خنک‌کننده کمکی آسان‌تر گردد. همچنین از آنجا که دمای محیط نیز یکی از عوامل موثر در مقدار گرمای تبدالی می‌باشد، جهت خلاصه نمودن جداول، معمولاً ضرایب مختلفی در ابتدای هر کاتالوگ تعریف می‌شود تا بتواند بازه گسترده‌ای از شرایط محیطی و کارکرد ماشین‌آلات را در اختیار کاربرانی که از این کاتالوگ‌ها استفاده می‌نمایند، قرار

دهد. بنابراین بهتر است ابتدا با مطالعه کاتالوگ سازنده و ضرایب و جداول و همچنین مطالعه یک مثال حل شده که معمولاً در ابتدای هر کاتالوگ تشریح گردیده است، نحوه محاسبه و انتخاب سیستم خنک‌کن کمکی لازم را بیاموزیم و در محاسبات و انتخاب گیربکس حتماً این موضوع را مد نظر قرار دهیم. به این منظور روش انتخاب یک گیربکس و سیستم خنک‌کاری آن را همراه با یک مثال و با استفاده از کاتالوگ‌های شرکت ELECON به عنوان نمونه مطرح می‌کنیم.

مثال - گیربکسی با شرایط زیر مورد نیاز می‌باشد، اندازه گیربکس و نوع سیستم خنک‌کاری آن را مشخص کنید؟
کاربرد در نوارنقاله با ۱۶ ساعت کارکرد، ۱ بار در روز استارت و گیربکس مد نظر با موتور الکتریکی به توان ۹۵۰ kW و دور ۵۰۰ rpm توسط یک کوپلینگ هیدرولیک، کوپل می‌باشد. چنانچه دور خروجی گیربکس برای حرکت نوار ۶۰ rpm مورد نیاز باشد و دمای محیط حداقل صفر و حداکثر ۴۰ درجه سانتیگراد در نظر بگیریم.

حداکثر تورک^۲ مورد نیاز برای راه‌اندازی باند (da Nm) ۱۲۷۳ می‌باشد؛ مراحل زیر را طی می‌کنیم:
(۱) نوع گیربکس را Bevel helical در نظر می‌گیریم تا راندمان مناسبی داشته باشد و در اولین قدم نسبت دور ورودی به خروجی (i_N) را می‌یابیم:

$$i_N = n_1 / n_2 = 1500 / 60 = 25$$

(۲) مشخص شدن سایز گیربکس:

از روی جدول ۱ نوع تجهیز M مشخص می‌شود و از روی جدول ۲ با توجه به ۱۶ ساعت کارکرد روزانه و اینکه نیروی محرکه موتور الکتریکی می‌باشد، نتیجه می‌گیریم: (جداول ۱ و ۲ در انتهای مقاله درج گردیده است)

$$f_1 = 1/5$$

حال می‌بایست توان نامی گیربکس را بیابیم:

$$P_N = P_e \times f_1$$

P_N : توان نامی گیربکس

P_e : توان موتور

$$P_N = 950 \times 1.5 = 1425 \text{ kW}$$

در ادامه از روی جدول توان، تیپ گیربکس را انتخاب می‌نماییم. لازم به ذکر است که در نوارهای نقاله، امتداد راستای موتور و راستای

با توجه به اینکه $P_e = 485 \text{ kW}$ و اینکه ۳۶۴ از ۹۵۰ کمتر است، پس گیربکس بدون سیستم خنک کن کار نمی کند.

ب- با استفاده از فن

مجدداً برای یافتن f_w به جدول ۳ مراجعه می کنیم. بنابراین $f_w = 0.8$ و P_{G2} را از جدول توان گیربکس می یابیم:

$$P_{G2} = 1160 \text{ kW}$$

$$P_{G2} \times f_w = 1160 \times 0.8 = 928 \text{ kW}$$

با توجه به اینکه ۹۲۸ از P_e (۹۵۰) کوچکتر است، بنابراین استفاده تنها از فن نیز جوابگو نیست.

ج- استفاده از سیستم خنک کننده روغن

در این حالت با مراجعه به جدول ۳، $f_w = 0.85$ می باشد و P_{G3} نیز با مراجعه به جدول توان گیربکس حاصل می شود:

$$P_{G3} = 685 \text{ kW}$$

$$P_{G3} \times f_w = 685 \times 0.85 = 582 \text{ kW}$$

که این عدد نیز از P_e (۹۵۰) کوچکتر است. پس استفاده تنها از سیستم خنک کننده روغن نیز مطلوب نیست.

د- استفاده از سیستم فن به اضافه خنک کننده روغن

در این حالت با مراجعه به جدول ۳، $f_w = 0.83$ می باشد و P_{G4} نیز با مراجعه به جدول توان گیربکس استخراج می شود:

$$P_{G4} = 1360 \text{ kW}$$

$$P_{G4} \times f_w = 1360 \times 0.83 = 1129 \text{ kW}$$

که این عدد از P_e (۹۵۰) بزرگتر می باشد و قابل قبول است. بنابراین گیربکس مورد نظر با مشخصات زیر انتخاب می شود:

$$i_N = 250$$

همراه با فن و سیستم خنک کننده روغن KCN 560

غلطک محرک بر هم عمود هستند. از این رو بهتر است در کاتالوگ شرکت های سازنده به این نکته توجه نماییم. در این مثال، با توجه به این موضوع و اینکه تغییر دوری که توسط گیربکس انجام می شود به $i_N = 250$ زیاد است، بنابراین پیشنهاد می شود از گیربکس KCN استفاده شود (از کاتالوگ شرکت ELECON). تغییر در سه مرحله یعنی سه ردیف چرخ دنده صورت می گیرد.

حال با توجه به انتخاب نوع گیربکس و توان نامی $P_N = 1425 \text{ kW}$ به جدول توان گیربکس مزبور مراجعه می کنیم تا سائز آن را انتخاب نماییم. از روی این جدول و در ستون توان گیربکس ها که با حرف (H) مشخص شده است، توان ۱۴۶۰ از همه به توان ۱۴۲۵ محاسبه شده، نزدیک تر است. بنابراین گیربکس KCN 560 با توان نامی $P_N = 1460$ را انتخاب می کنیم (جدول توان)

۳) در مرحله بعد می بایست مطمئن شویم که تورک اولیه جهت استارت مناسب است یا خیر؟ بدین منظور می بایست تناسب زیر برقرار باشد:

$$(M_k \cdot n_1) / (P_N \times 955) < 2/5$$

M_k : تورک مورد نیاز برای استارت

$$(M_k \cdot n_1) / (P_N \times 955) = (1273 \times 1500) / (1460 \times 955) = 1/37$$

با توجه به اینکه $1/37$ کوچکتر از $2/5$ می باشد، بنابراین تورک زمان استارت مناسب است.

۴) در این مرحله می بایست نیاز و یا عدم نیاز گیربکس به خنک کن را بیابیم. بنابراین در گام اول f_w را به دست می آوریم. نکته- برای اینکه ببینیم یک گیربکس نیاز به کدام مرحله از سیستم های خنک کن (بدون خنک کن، فن، سیستم خنک کننده روغن، فن به اضافه خنک کننده روغن) دارد می بایست ابتدا f_w مربوط به آن شرایط را از جدول ۳ بیابیم و سپس P_G مربوطه را از جدول توان گیربکس پیدا کنیم. حاصل ضرب $P_G \times f_w$ در هر موردی باید بزرگتر یا مساوی P_e باشد. یعنی در صورتی که $P_e < P_G \times f_w$ باشد، آن مورد مناسب گیربکس است. بنابراین:

الف- مرحله بدون نیاز گیربکس به خنک کن

در این حالت با توجه به جدول ۳ و حداکثر دمای محیط ۴۰ درجه سانتیگراد، $f_w = 0.75$ می باشد و از طرفی با مراجعه به جدول توان، P_{G1} گیربکس (یا توان حرارتی گیربکس بدون استفاده از خنک کن) را می یابیم:

$$P_{G1} = 485 \text{ kW}$$

$$P_{G1} \times f_w = 485 \times 0.75 = 364 \text{ kW}$$

منابع:

۱- کاتالوگ شرکت ELECON

2. S. P. Deolalkar, «Cement Plant Design Handbook»

Table 1	Load parameters			
Driven machines	Driven machines	Driven machines	Driven machines	
Excavators and stackers	Impeller blowers	G	-- wet	S**
Bucket chain excavators	Turbo blowers	G	-- suction	S**
Travelling gear	Centrifugal blowers	G	Suction rollers	S**
--- caterpillar track	Generators		Drying cylinders	S**
--- rail	Generators, under uniform load	G	Pumps	
Bucket-wheel stackers	Welding generators	***	Proportioning pumps	M
Bucket wheels	Rubber and Plastics		Piston pumps	
--- clearing	Extruders		- U < 1:100	S
--- coal	-- rubber	S**	- U > 1:100 - 1:200	M**
--- lime	-- plastics	M**	Centrifugal pumps	
Cutter heads	Calenders	M**	- light liquids	G
Slewing machines	Kneading machines, rubber	S**	- viscous liquids	M
Suction pumps	Mixers	M**	Compression pumps	S
Cable drums	Mills, rubber	M**	Plunger pumps	S**
Winches	Rolling mills, rubber	S**	Sand pumps	M**
Mining, rock, earth	Wood-working machinery		Machines for the Textile Industry	
Concrete mixers	Decorticating drums	S	Bobbin winding machines	M
Crushers	Planing machine	M	Printing machines	M
Briquetting presses	Saw frames	M	Dyeing machines	M
Rotary kilns	Iron and Steel Industry		Tan-liquor vessels	M
Pneumatic sifters	Foundry crane (hoisting gear)	S**	Calenders	M
Clay mixers	Converters	***	Willowing machines	M
Chemical Industry	Slag cars	G**	Drying machines	M
Mixers	Sintering belts	M**	Looms	M
Agitators	Crusher	S**	Compressors	
--- pure liquids	Torpedo mixers	***	Rotary piston compressors	
--- liquids and solids	Car tipper	S	- U < 1:100	S
--- liquids with various densities	Cranes		- U > 1:100 - 1:200	M
Rotary Dryer	Luffing gear	G*	Centrifugal compressors	M
Centrifuges	Travelling gear	M*	Turbo compressors	M
--- light	Hoisting gear	M*	Rolling mills	
--- heavy	Slewing gear	M*	Plate tilters	M**
Petroleum Industry	Winches	G	Bloom pushers	H**
Drilling pumps	Metal working		Bloom conveying plant	S**
Rotary Kilns	Folding presses	S	Wire pulls	M
Filter presses	Plate bending machines	M**	Revolving turrets	M**
Pipeline pumps	Plate straightening presses	S	(contin. casting)	
Scavenging pumps	Eccentric presses	S	De-scaling crushers	S**
Conveying plants	Hammers	S**	Reels	
Uniform load	Planing machines	S	- strip	M*
Bucket conveyors	Crank presses	S	- wire	M**
Roasting furnace conveyors	Shearing machine	M**	Walking beam conveyors	M*
Assembly line belts	Forging presses	S	Chain transporter	M**
Band conveyors	Punching machines	S	Cooling troughs	M**
Overhead conveyors	Mills		Traverse tractors	M**
Chain conveyors	Hammer mills	H**	Pipe welding machine	S
Apron conveyors	Edge mills	H**	Pipe drawing machine	S*
Worm conveyors	Ball mills	H**	Roller straightening machine	M**
Medium and heavy load	Pendulum mills	H**	Roller gear beds	
Shaft - sinking machines	Impact mills	H**	--- light	M**
Bucket conveyors	Tube mills	H**	--- heavy	S**
Bucket belts	Beating mills	H**	Shears	
Assembly line conveyors	Rod mills	H**	--- plate	S**
Conveyors winders	Roller mills	H**	--- wire	M**
Conveyors	Foodstuffs machines		--- billet	S**
Belt Conveyors	Filling machines	G	--- cropping	S**
Chain Conveyors	Kneading machines	M	--- plate trimming	M**
Goods lifts	Packing machines	G	Winding turret	M**
Passenger lifts	Weighing machines	M	Winding tractor	M**
Apron conveyors	Sugarcane crushers	M**	Continuous casting plants	S**
Shaker conveyors	Sugarcane mills	S**	Shifting device	S
Worm conveyors	Sugarcane Cutters	M**	Roller adjusting device	M
Inclined lifts	Sugar-beet Cutters	M	Water recycling machine	
Blowers, fans, ventilators	Paper machines		Thickeners	M
Axial blowers	Couachers	S**	Gyroscopic ventilators	M
Rotary piston blowers	Glazing cylinders	S**	Mixers	M
Large ventilators (mining)	Calenders	M**	Water screws	M
Cooling tower fans	Mixers	M	Vacuum filter presses	M
Radial blowers	Presses	G	Rate/Screen drives	G
Induced draft fans	--- glue	S**		

Table 2	Service factor	f_1			
Prime mover	Hours of operation/day	Prime mover Load parameter			Extra Heavy duty H
		Uniform load G	Medium load M	Heavy load S	
Electric motor turbine	up to 3 over 3 to 10 over 10 to 24	0.80 1.00 1.25	1.00 1.25 1.50	1.50 1.75 2.00	2.0 2.25 2.5
Piston engines 4-6 cylinder	up to 3 over 3 to 10 over 10 to 24	1.00 1.25 1.50	1.25 1.50 1.75	1.75 2.00 2.25	2.25 2.5 2.75
Piston engines 1-3 cylinder U<1:100	up to 3 over 3 to 10 over 10 to 24	1.25 1.50 1.75	1.50 1.75 2.00	2.00 2.25 2.50	2.5 2.75 3.0

1) Cooling water temperature max. 20° C
Load parameters
G = Uniform load
M = Medium load
S = Heavy load
H = Extra Heavy duty
* = Detailed calculation on request
** = Only calculated for 24-hour period of operation
*** = Load parameter on request.
U = Cyclic variation

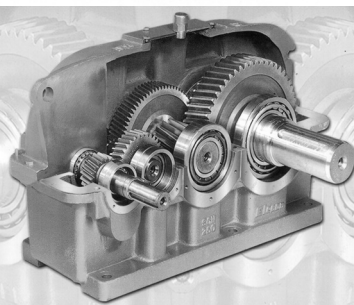
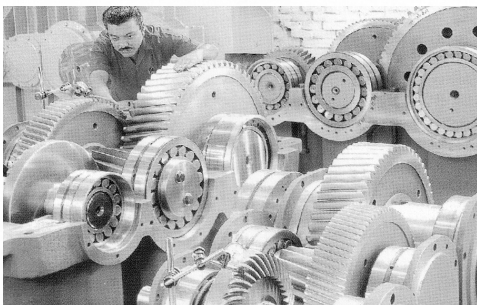
The load parameters quoted are parameters gained from experience. Calculations for driven machines not mentioned above or deviations from the norm obtainable on request.

Table 3	Factor for amb. temperatures	f_w				
Type of cooling	Ambient temperature	Duration of operation per hour				
		100%	80%	60%	40%	20%
For gear	10°C	1.12	1.34	1.57	1.79	2.05
boxes	20°C	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
without	30°C	0.88	1.06	1.23	1.41	1.58
additional	40°C	0.75	0.9	1.05	1.2	1.35
cooling	50°C	0.63	0.76	0.88	1.01	1.13
For gear	10°C	1.15	1.38	1.61	1.84	2.07
boxes	20°C	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
with	30°C	0.9	1.08	1.26	1.44	1.62
fans	40°C	0.8	0.96	1.12	1.29	1.44
	50°C	0.7	0.84	0.98	1.12	1.26
For gear	10°C	1.1	1.32	1.54	1.76	1.98
boxes	20°C	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
with	30°C	0.9	1.08	1.26	1.44	1.62
cooling	40°C	0.85	1.02	1.19	1.36	1.53
coils	50°C	0.8	0.96	1.12	1.29	1.44
For gear	10°C	1.12	1.34	1.57	1.79	2.05
boxes	20°C	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
with fans	30°C	0.92	1.1	1.29	1.47	1.66
and cool-	40°C	0.83	1.0	1.16	1.33	1.5
ing coils	50°C	0.78	0.94	1.09	1.25	1.4

جدول ۴ - فاکتور فرکانس استارت (f_2)

1) Maximum cooling-water temperature 20° C

Table 4	Starting-frequency factor	f_2					
Starts per hour	Driven machines factor						
		1	2	3	4	5	6
1		1	1	1	1	1	1
2 to 20		1.2	1.1	1.08	1.07	1.07	1.06
21 to 40		1.3	1.2	1.17	1.16	1.15	1.08
41 to 80		1.5	1.4	1.25	1.23	1.18	1.10
81 to 160		1.6	1.5	1.35	1.3	1.2	1.1
160 to 320		2	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4
Over 320		2.5	2.25	2	1.9	1.8	1.75



جدول ۵- توان و سائز گیربکس

Nominal transmission ratio i_N	Nominal speeds [rpm]; n_1 n_2	Size of gear unit																		
		110	125	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	
		Nominal gear box rating P_N (kW)																		
14	1500	107	16	22	32	45	63	85	120	170	240	320	440	620*	830*	1350*	1850*	2500*		
	1000	71	11	15	23	30	46	60	85	120	175	235	330	450	630	1010	1420*	2200*	2500*	
	750	54	8.5	12	17	24	34	45	70	90	145	190	270	360	510	830	1180	1750	2300*	
16	1500	94	15	22	30	45	61	80	120	160	230	305	440	600*	830*	1350*	1850*	2500*		
	1000	63	10	14	21	30	43	60	85	115	170	230	330	440	630	1010	1420*	2200*	2500*	
	750	47	8	12	17	24	35	45	70	85	140	185	270	360	510	830	1180	1600	2300*	
18	1500	83	13	20	28	42	58	75	110	150	210	290	440	560	780*	1350*	1850*	2500*	2700*	
	1000	56	9	13	19	30	40	53	75	105	155	215	330	420	590	1000	1400*	1860*	2500*	
	750	42	7	10	15	23	32	42	65	80	120	175	260	345	480	790	1120	1460	2180	
20	1500	75	12	17	25	39	53	68	100	135	195	270	430	550	780*	1320*	1800*	2460*	2650*	
	1000	50	8	12	17	27	36	48	70	95	140	200	315	380	550	880	1240*	1640*	2400*	
	750	38	6	9	13	20	28	38	55	75	110	160	245	310	445	700	1000	1290	1920*	
22.4	1500	67	10	15	22	34	50	65	94	130	175	250	400	510	730*	1170*	1540*	2170*	2500*	
	1000	45	7	11	15	23	34	48	65	90	130	185	290	360	520	780	1100	1450*	2120*	
	750	33	5.5	8	11	17	25	36	49	70	95	140	220	275	400	620	880	1140	1710	
25	1500	60	9	14	20	30	44	62	83	115	160	225	350	450	650	1030*	1460*	1930*	2500*	
	1000	40	6.5	9.5	14	20	30	42	57	80	110	165	255	315	460	730	1040	1350*	2010*	
	750	30	4.7	7	10	15	23	32	43	60	85	125	195	240	350	550	780	1010	1510	
28	1500	54	8	11	18	22	37	48	75	92	140	215	320	405	590	910*	1290*	1710*	2400*	
	1000	36	5.5	8	12	15	25	34	52	66	94	150	225	285	420	640	910	1190	1770*	
	750	27	4.1	6	9	12	19	26	39	50	71	115	170	215	315	490	690	890	1330	
31.5	1500	48	7	10	16	20	33	44	69	85	120	195	290	385	550	820*	1170*	1540*	2260*	
	1000	32	4.8	7	11	14	22	31	46	59	83	130	200	255	370	580	820	1070*	1600*	
	750	24	3.6	5.5	8	10	17	23	34	44	62	100	150	190	280	440	620	800	1200	
35.5	1500	42	6.5	9.5	15	18	30	40	62	77	110	180	260	345	500	770*	1100*	1430*	2120*	
	1000	28	4.3	6.5	10	12	20	28	42	53	75	120	180	230	340	510	720	950	1410*	
	750	21	3.2	4.8	7.5	9	15	21	31	40	56	90	135	175	250	385	540	710	1060	
40	1500	38	6	8.5	13	17	27	36	56	69	98	160	235	310	450	690	990*	1290*	1920*	
	1000	25	3.9	5.5	9.5	11	18	25	41	47	67	120	160	225	330	465	660	860	1280	
	750	19	2.9	4.4	6.5	8.5	14	19	29	36	52	82	125	155	230	350	495	640	960	
45	1500	33.5	5	7.5	12	15	24	33	50	64	90	145	215	275	400	620	880	1150*	1720*	
	1000	22	3.5	5	8	10	16	22	33	42	60	95	145	180	265	455	640	840	1250	
	750	16.6	2.7	4	6	7.5	12	17	26	32	46	74	110	140	205	320	455	600	870	
50	1500	30	4.6	7	11	13	21	30	44	57	80	130	195	245	360	550	780	1030	1540*	
	1000	20	3.1	4.6	7	9	14	20	31	38	54	87	130	165	240	365	520	680	1020	
	750	15	2.4	3.5	5.5	7	11	15	23	29	41	65	99	120	180	290	410	540	780	
56	1500	27	4.1	6	9.5	12	19	26	39	50	71	115	170	220	320	500	700	920	1370*	
	1000	18	2.8	4.2	6.5	8	13	18	27	34	49	78	115	145	215	340	485	640	930	
	750	13.4	2.1	3.1	4.6	6	10	14	21	26	37	59	88	110	165	255	360	475	690	
63	1500	24	3.7	5.5	8.5	10	17	23	35	44	63	100	150	195	285	440	620	810	1220	
	1000	16	2.5	3.7	5.5	7	12	16	24	30	43	69	105	130	190	300	430	560	820	
	750	12	1.9	2.8	4.2	5.5	8.5	12	18	23	32	52	78	98	145	230	325	430	620	
71	1500	21	3.2	4.8	7.5	9	15	21	31	40	56	90	135	175	250	395	560	730	1000	
	1000	14	2.2	3.3	5	6.5	10	14	22	27	37	62	81	115	160	265	380	500	680	
	750	10.5	1.7	2.5	3.7	4.8	7.5	11	16	20	27	46	59	86	110	200	285	380	510	
80	1500	18.8	2.9	4.4	6	9	12	19	29	40	55	74	115	160	210	350	480	600	850	
	1000	12.5	2	3	4.2	6	8	14	20	27	37	50	79	110	145	240	340	410	560	
	750	9.4	1.5	2.2	3.1	4.5	8	10	15	20	27	38	59	81	110	180	255	305	425	
90	1500	16.7	2.3	3.9	5.5	8	10	18	26	36	46	67	110	145	190	310	385	520	800	
	1000	11.1	1.5	2.5	3.7	5.5	7	12	17	24	29	41	67	95	115	180	260	355	540	
	750	8.3	1.1	1.9	2.8	4	5.5	9	13	18	21	30	48	68	85	130	195	270	410	
100	1500	15		2.8	5	7	9.5	16	21	30	34	50	82	120	140	230	320	430	650	
	1000	10		1.8	3.3	4.6	6.5	10	13	19	22	31	50	64	85	135	205	295	435	
	750	7.5		1.3	2.4	3.4	4.9	7.5	9.5	14	16	23	37	46	62	97	145	225	330	
Nominal transmission ratio i_N	input speeds [rpm]; n_1	Size of gear unit																		
		110	125	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	
		Thermal capacity, P_{G1} (kW), for gear boxes without cooling																		
14	1500	21	26	32	42	51	65	85	102	133	168	202	250	305	386	485	605	760	960	
to	1000	19	23	29	38	49	60	78	100	120	158	192	240	292	375	480	595	740	940	
35.5	750	17	20	26	34	45	55	72	95	118	152	183	232	282	370	465	585	720	920	
40	1500	18	24	30	38	48	60	75	96	123	157	191	242	300	380	475	595	750	950	
to	1000	17	21	27	36	46	57	74	94	115	150	181	228	277	365	460	580	730	930	
100	750	15	19	24	32	42	54	70	92	110	140	170	215	265	350	445	560	705	900	
		Thermal capacity, P_{G2} (kW), for gear boxes with fan cooling																		
14	1500	50	62	80	100	120	150	195	225	290	380	465	550	715	900	1160	1450	1)	1)	
to	1000	48	60	76	95	115	135	175	210	260	345	410	470	595	770	1000	1300	1)	1)	
35.5	750	46	58	72	90	110	125	160	190	230	300	360	420	530	695	920	1190	1)	1)	
40	1500	47	60	76	96	115	140	180	212	255	320	390	480	620	760	950	1290	1)	1)	
to	1000	45	56	72	86	108	130	165	195	240	290	350	450	580	700	890	1180	1)	1)	
100	750	43	52	66	80	100	120	156	180	220	270	310	410	520	655	860	1100	1)	1)	
		Thermal capacity, P_{G3} (kW), for gear boxes with cooling coil																		
14	1500	71	84	97	122	141	165	210	247	313	318	367	485	540	646	685	855	1)	1)	
to	1000	69	81	93	113	134	160	193	240	300	308	357	465	517	595	640	835	1)	1)	
100	750	67	77	89	104	120	150	182	230	296	300	348	462	512	585	625	795	1)	1)	
		Thermal capacity, P_{G4} (kW), for gear boxes with fan and cooling coil																		
14	1500	100	120	145	180	210	250	320	370	470	530	630	785	950	1160	1360	1700	1)	1)	
to	1000	98	118	140	170	200	235	290	350	440	495	575	695	820	990	1180	1540	1)	1)	
100	750	96	115	135	160	185	220	270	325	408	448	525	650	760	910	1080	1400	1)	1)	